



Marcelo Mendes Rodrigues

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

Eficiência Energética em Edifícios de Habitação Unifamiliares

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Dr. João José Lopes de Carvalho, Professor Auxiliar,
Universidade Nova de Lisboa - Faculdade Ciências e
Tecnologia

Júri

Presidente: Professor Doutor José Almeida Dias

Arguente: Professor Doutor Daniel Cardoso Vaz

Vogal: Professor Doutor João José Lopes de Carvalho



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Abril, 2020

Eficiência Energética em Edifícios de Habitação Unifamiliares

Copyright © Marcelo Mendes Rodrigues, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao corpo docente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa por todo o conhecimento transmitido ao longo do meu percurso universitário.

Gostaria também de agradecer a todos os colegas e amigos que me acompanharam e motivaram ao longo deste percurso. Sem eles esta jornada teria sido muito mais difícil de completar.

Finalmente gostaria de agradecer à minha família, em especial aos meus pais, pela oportunidade por eles concedida de atingir um patamar superior nos meus estudos.

A todos que direta ou indiretamente tiveram uma influência positiva neste meu percurso, um obrigado e que o sucesso faça parte das vossas vidas também.

Resumo

Esta dissertação tem como objetivo o estudo das características necessárias ao funcionamento eficiente e sustentável de um edifício habitacional, sejam elas relacionadas com o edifício, com os sistemas instalados ou com a utilização da energia por parte dos utilizadores.

Numa primeira etapa será realizada uma revisão à evolução da legislação aplicada a edifícios na vertente da eficiência energética. Esta revisão tem como objetivo a compreensão dos valores de referência aplicados aos vários sistemas energéticos presentes nos edifícios.

Serão apresentadas as necessidades básicas para o conforto no interior de um edifício: o conforto térmico, a produção de águas quentes sanitárias (AQS), iluminação eficiente, etc.

Em seguida serão apresentadas algumas fontes de energia renováveis capazes de ser captadas e utilizadas localmente, fornecendo ao edifício a energia necessária para suprimir as necessidades estudadas.

Posteriormente serão estudadas algumas soluções tecnológicas que permitem suprimir as necessidades apresentadas. Estas serão descritas em termos de componentes, possíveis aplicações e quais os parâmetros que permitem obter o melhor rendimento possível. Todas as soluções estudadas terão como base as fontes de energia renováveis apresentadas.

Finalmente é apresentado um caso de estudo em que são aplicadas algumas das metodologias abordadas. Este caso relata um edifício já existente e tem como objetivo o melhoramento da eficiência energética, seja pelo aprimoramento dos sistemas existentes ou pela instalação de novos sistemas.

Palavras chave: Eficiência energética, Edifícios habitacionais, Energia renovável, Energia solar, SolTerm.

Abstract

This dissertation aims to study the characteristics necessary for the efficient and sustainable functioning of a residential building, whether they are related to the building, to the installed systems or to the use of energy by the users.

In a first stage, a review of the evolution of legislation applied to buildings in terms of energy efficiency will be carried out. This review aims to understand the reference values applied to the various energy systems present in buildings.

Basic needs for comfort inside a building will be presented: thermal comfort, hot water production (DHW), efficient lighting, etc.

Next, some renewable energy sources capable of being captured and used locally will be presented, providing the building with the necessary energy to suppress the studied needs.

Subsequently, some technological solutions will be studied that allow to suppress the presented needs. These will be described in terms of components, possible applications and which parameters allow the best possible performance to be obtained. All the solutions studied will be based on the renewable energy sources presented.

Finally, a case study is presented in which some of the approached methodologies are applied. This case reports on an existing building and aims to improve energy efficiency, either by improving existing systems or installing new systems.

Keywords: Energy efficiency, Residential buildings, Renewable energy, Solar energy, SolTerm.

Índice

Índice de Figuras	xiv
Índice de Tabelas.....	xx
Abreviaturas	xxii
Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Razões e objetivos	2
1.3 Tipos de Edifícios.....	4
Capítulo 2 – Pesquisa bibliográfica.....	5
2.1 Legislação.....	5
2.1.1 A nível europeu.....	5
2.1.2 A nível nacional	7
2.2 Modelos de edifícios eficientes	10
2.2.1 Modelo <i>Passivhaus</i>	10
2.2.2 Modelo <i>NZEB</i>	12
2.3 Clima	14
Capítulo 3 – Características dos Edifícios	16
3.1 Forma, localização e orientação	16
3.2 Envolvente.....	18
3.2.1 Paredes	18
3.2.2 Vãos	21
3.2.3 Coberturas	26
3.2.4 Pavimentos.....	26
3.3 Necessidades	28
3.3.1 Isolamento.....	28
3.3.2 Climatização	30
3.3.3 Ventilação	31
3.3.4 Águas Quentes Sanitárias	32
3.3.5 Iluminação	33

Capítulo 4 – Energia.....	35
4.1 Introdução.....	35
4.2 Energia nos Edifícios.....	35
4.3 Fontes de Energia	36
4.3.1 Energia Solar	39
4.3.2 Energia Eólica.....	46
4.3.3 Biomassa.....	47
4.3.4 Biocombustível	49
4.3.5 Energia Geotérmica	51
4.3.6 Energia Hídrica.....	51
Capítulo 5 – Instalações para aproveitamento energético.....	54
5.1 Instalação solar térmica	54
5.1.1 Estrutura e componentes	54
5.1.2 Sistema de captação	55
5.1.3 Sistema de acumulação	58
5.1.4 Sistema de circulação	59
5.1.5 Sistema de controlo.....	60
5.1.6 Sistema auxiliar	62
5.1.7 Tipos de circuitos.....	63
5.1.8 Métodos de circulação	65
5.1.9 Proteções contra congelamento e sobreaquecimento	66
5.1.10 Aplicações.....	68
5.2 Instalação solar fotovoltaica	69
5.2.1 Estrutura e Componentes	69
5.2.2 Sistema de captação	70
5.2.3 Sistema de conversão.....	71
5.2.4 Sistema de armazenamento.....	73
5.3 Instalação eólica	75
5.3.1 Tipos de turbinas eólicas	75

5.3.2 Fundamentos da Captação Eólica	76
5.4 Instalação para Aproveitamento de Combustíveis Renováveis	80
5.4.1 Lareiras	81
5.4.2 Salamandras e fornos a lenha	84
5.4.3 Recuperadores de calor	86
5.4.4 Caldeiras	87
5.4.5 Geradores elétricos	90
5.5 Bombas de calor	91
5.5.1 Componentes	91
5.5.2 Princípio de funcionamento	93
5.5.3 Ar como fonte de calor	94
5.5.4 Fluido como fonte de calor	95
5.6 Instalação geotérmica	96
5.6.1 Tipos de circuitos	97
5.6.2 Componentes	98
Capítulo 6 – Caso de estudo	101
6.1 Introdução	101
6.2 Descrição do Edifício	101
6.2.1 Forma	101
6.2.2 Localização	102
6.2.3 Orientação	103
6.3 Soluções Existentes	104
6.3.1 Paredes de envolvente exterior	104
6.3.2 Coberturas	106
6.3.3 Vãos	106
6.3.4 Ventilação	112
6.3.5 Climatização	113
6.3.6 AQS	116
6.2.7 Iluminação	117

6.4 Consumo Energético	118
6.4.1 Consumo elétrico	118
6.4.2 Consumo de gás	120
6.4.3 Consumo de biomassa	121
6.5 Melhorias propostas	122
6.5.1 Isolamento pelo exterior	122
6.5.2 Vãos	125
6.5.3 Ventilação das chaminés.....	132
6.5.4 Instalação solar térmica (AQS).....	134
6.5.5 Instalação fotovoltaica	152
6.6 Conclusões.....	165
Capítulo 7 – Conclusão	170
7.1 Considerações finais.....	170
7.2 Considerações do autor.....	171
7.3 Perspetivas de desenvolvimentos futuros.....	171
Referências.....	173
Anexos	176

Índice de Figuras

Figura 1 - Fator de forma para diversas geometrias de edifícios. Fonte: www.energycentral.com	16
Figura 2 - Mapa das Zonas climáticas de Portugal. Fonte: RCCTE	17
Figura 3 - Edifício eficientemente orientado com o sol. Fonte: Adaptado de Green Building Advisor	18
Figura 4 - Evolução das paredes de alvenaria em Portugal. Fonte: Manual de Alvenaria de Tijolo, Associação Portuguesa de Indústria Cerâmica	19
Figura 5 - Descrição dos elementos do sistema ETICS. Fonte: Soluções de isolamento pelo exterior, maisurbana.	20
Figura 6 - Vão envidraçado com corte térmico incorporado. Fonte: aluminiosfilipe.com	23
Figura 7 - Vão opaco de batente. Fonte: HUD (1999) e ABAL (2012).	25
Figura 8 - Evolução da construção de coberturas em Portugal. Fonte: 10 SOLUÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, Isolamento de coberturas, SCE.	26
Figura 9 - Constituição de um pavimento com piso radiante incorporado. Fonte: A autoria do autor.	28
Figura 10 - Modulo de ventilação com recuperador de calor. Fonte: Recuperadores de calor, unidades de filtração e tratamento de ar, Sodeca.....	32
Figura 11 – Distribuição da energia consumida num edifício de habitação. Fonte: Eficiência energética nos edifícios residenciais, EnerBuilding.eu	36
Figura 12 - Parede de Trombe. Fonte: Transferência de calor eficiência energética, João José Lopes de Carvalho.	37
Figura 13 - Chaminé solar. Fonte: A autoria do autor.	38
Figura 14 - Comportamento da radiação solar à face da Terra. Fonte: Adaptado a partir do original de Frank van Mierlo.	40
Figura 15 - Determinação da massa de ar. Fonte: Masters, G.M (2004).....	41
Figura 16 - Percurso da Terra ao longo do ano. Fonte: Gilbert M. Masters (2004).....	41
Figura 17 - Movimento aparente do sol no hemisfério norte do globo. Fonte: Observatório Astronómico de Lisboa.....	42
Figura 18 - Variação da declinação solar ao longo do ano. Fonte: Gilbert M. Masters (2004)	42

Figura 19 - Coletor solar orientado a sul e inclinado no valor da latitude. Fonte: Gilbert M. Masters (2004)	43
Figura 20 - Ângulo de altura solar ao meio-dia solar. Fonte: Gilbert M. Masters (2004)	44
Figura 21 – Altura e azimute solar. Fonte: Gilbert M. Masters (2004).....	45
Figura 22 - Turbina Pelton (esquerda) e turbina Cross-flow (direita). Fonte: theconstructor.org, wikipedia.org.....	52
Figura 23 - Subsistemas de um sistema solar térmico. Fonte: Autoria do autor.	55
Figura 24 - Diferentes tipos de placas absorsoras. Fonte: Adaptado de Térmica de Edifícios.....	57
Figura 25 - Tipo de ligação entre coletores térmicos. Fonte: Adaptado de Térmica de Edifícios.....	58
Figura 26 - Princípio de funcionamento do controlo diferencial. Fonte: Térmica de Edifícios.....	61
Figura 27 - Sistema de controlo fotovoltaico. Fonte: Adaptado de Térmica de Edifícios.	62
Figura 28 - Sistema térmico com circuito aberto. Fonte: Adaptado de Térmica de Edifícios.....	64
Figura 29 - Sistema térmico com circuito fechado. Fonte: Adaptado de Térmica de Edifícios.....	64
Figura 30 - Instalação com circuito primário e secundário. Fonte: Adaptado de Térmica de Edifícios	65
Figura 31 - Sistema de convecção natural. Fonte: Adaptado de simplesolarinfo.blogspot.com.....	66
Figura 32 - Célula, Modulo, Matriz. Fonte: Autoria do autor	70
Figura 33 - Turbinas do tipo HAWT (esquerda) e VAWT (direita). Fonte: Autoria do autor	75
Figura 34 - Forças presentes num perfil alar. Fonte: Autoria do autor	76
Figura 35 - Escoamento laminar sobre uma placa plana. Fonte: Autoria do autor	77
Figura 36 - Turbina de Darrieus no Quebec. Fonte: Wikipédia	79
Figura 37 - Cadeia energética dos combustíveis renováveis. Fonte: Autoria do autor ..	80
Figura 38 - Lareira aberta para o interior do edifício. Fonte: casaeconstrução.org.....	81

Figura 39 - Tijolo refratário. Fonte: topeca.pt.....	82
Figura 40 - Vista em corte de uma chaminé típica de uma lareira. Fonte: Adaptado de alchimneypro.com	83
Figura 41 - Lareira a bioetanol. Fonte: Leroy Merlin.....	84
Figura 42 - Salamandra a biomassa. Fonte: Adaptado de eletrogemeos.pt.....	85
Figura 43 - Salamandra acoplada a uma lareira. Fonte: Autoria do autor.....	85
Figura 44 - Escoamentos no interior de um recuperador de calor. Fonte: Dimensionamento de uma lareira com recuperador de calor, Joana de Freitas Teixeira.	86
Figura 45 – Aplicações do calor recuperado em diferentes zonas do edifício. Fonte: erfolconter.pt.....	87
Figura 46 - Esquema da distribuição do calor produzido por uma caldeira doméstica. Fonte: Adaptado de desogo.elenabetchke.com.....	88
Figura 47 - Evolução da eficiência energética das caldeiras domésticas a biomassa ao longo do tempo. Fonte: Adaptado de Small scale heating systems, Annalisa Paniz.....	89
Figura 48 - Evolução das emissões de monóxido de carbono provenientes da utilização de caldeiras à escala doméstica. Fonte: Adaptado de Small scale heating systems, Annalisa Paniz	90
Figura 49 - Componentes de uma bomba de calor. Fonte: Adaptado de obras360.pt....	91
Figura 50 - Bomba de calor SPLIT. Fonte: Como escolher uma bomba de calor, Ariston	92
Figura 51 - Bomba de calor Monobloco. Fonte: Como escolher uma bomba de calor, Ariston	92
Figura 52 – Ciclos de aquecimento e arrefecimento. Fonte: Como escolher uma bomba de calor, Ariston	93
Figura 53 - Funcionamento de uma instalação geotérmica na estação quente (esquerda) e estação fria (direita). Fonte: Autoria do autor	96
Figura 54 - Circuito geotérmico vertical. Fonte: Autoria do autor.....	97
Figura 55 - Circuito geotérmico horizontal. Fonte: Autoria do autor	98
Figura 56 - Circuito geotérmico em massa de água. Fonte: Autoria do autor.....	98
Figura 57 - Tubo para circuitos geotérmicos em poliestireno. Fonte: centennialplastics.com.....	99

Figura 58 – Edifício em estudo. Fonte: Autoria do autor.....	102
Figura 59 - Localização do edifício nos dois mapas climáticos. Fonte: Adaptado de RCCTE	103
Figura 60 - Orientação azimutal do edifício. Fonte: Autoria do autor	103
Figura 61 - Espessura de parede do piso inferior. Fonte: Autoria do autor.....	104
Figura 62 - Espessura de parede do piso superior. Fonte: Autoria do autor	105
Figura 63 - Inclinação das coberturas destinadas à implantação solar térmica e fotovoltaica. Fonte: Autoria do autor	106
Figura 64 - Vista direcionada a Este. Fonte: Autoria do autor	108
Figura 65 - Vista direcionada a Norte. Fonte: Autoria do autor.....	109
Figura 66 - Vista direcionada a Norte em corte, de maneira a ser visível os vãos K e L. Fonte: Autoria do autor	109
Figura 67 - Vista direcionada a Oeste. Fonte: Autoria do autor.....	109
Figura 68 - Vista direcionada a Sul. Fonte: Autoria do autor.....	110
Figura 69 - Vista direcionada a Sul em corte, de maneira a ser visíveis os vãos Y, W e Z. Fonte: Autoria do autor	110
Figura 70 - Vista em planta. Fonte: Autoria do autor.....	111
Figura 71 - Chaminé de extração de gases de combustão. Fonte: Autoria do autor	112
Figura 72 - Chaminé de extração de gases de combustão. Fonte: Autoria do autor	112
Figura 73 - Chaminé para exaustão de gases de cozinha. Fonte: Autoria do autor.....	113
Figura 74 - Chaminé para exaustão de gases de cozinha. Fonte: Autoria do autor.....	113
Figura 75 - Salamandra a biomassa. Fonte: Autoria do autor	114
Figura 76 - Camada adicional de tijolo refratário. Fonte: Autoria do autor.....	115
Figura 77 – Aparelho de ar condicionado localizado numa zona comum do edifício. Fonte: Autoria do autor	116
Figura 78 - Marquise orientada a sul. Fonte: Autoria do autor	116
Figura 79 - Ciclo de energia contratado. Fonte: Endesa	119
Figura 80 - Logotipo da REHAU	126
Figura 81 - Caixilharia oscilo-batente comercializada pela ArteJanelaPVC. Fonte: ArteJanelaPVC	127
Figura 82 - Logotipo da Saint-Gobain.....	127

Figura 83 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica segundo o SCE [23]	129
Figura 84 - Vão opaco a instalar. Fonte: Leroy Merlin	130
Figura 85 - Cobre águas. Fonte: Leroy Merlin	134
Figura 86 – Escolha do local de implantação da instalação solar térmica no SolTerm	135
Figura 87 – Sistema de circulação forçada. Esquema retirado do SolTerm	135
Figura 88 - Dados técnicos referentes ao coletor solar da Vulcano. Fonte: Coletor solar PremiumSun FKT-2S, Vulcano	137
Figura 89 – Introdução dos parametros referentes ao coletor solar escolhido no SolTerm	138
Figura 90 - Energia solar em determinada inclinação e valor de azimuth. Fonte: SolTerm	138
Figura 91 - Desempenho do sistema para o Caso 1 (inclinação 33° e azimuth sul).....	139
Figura 92 - Desempenho do sistema para o caso 2 (inclinação 19° e azimuth -27°) ...	140
Figura 93 - Desempenho do sistema com o campo solar ampliado (inclinação 33° e azimuth sul)	142
Figura 94 - Desempenho do sistema com o campo solar ampliado (inclinação 19° e azimuth -27°)	142
Figura 95 – Estrutura de suporte dos coletores solares térmicos. Fonte: Autoria do autor	144
Figura 96 - Dimensionamento da estrutura de suporte. Fonte: Autoria do autor	145
Figura 97 - Posicionamento da estrutura sobre a laje. Fonte: Autoria do autor	145
Figura 98 - Área de implantação dos coletores solares térmicos. Fonte: Autoria do autor	147
Figura 99 - Conjunto de coletores solares sobre os limites estabelecidos. Fonte: Autoria do autor	147
Figura 100 - Distâncias mínimas de segurança dos depósitos de acumulação (medidas em milímetros). Fonte: Autoria do autor	149
Figura 101 – Vista orientada a norte do edificio dotado da instalação solar térmica. Fonte: Autoria do autor.....	149
Figura 102 – Vista orientada a este do edificio dotado da instalação solar térmica. Fonte: Autoria do autor.....	150

Figura 103 – Informação referente à localização de implementação da instalação fotovoltaica	153
Figura 104 – Esquema da instalação escolhida	154
Figura 105 – Valores referentes ao modulo fotovoltaico escolhido	155
Figura 106 – Valores referentes ao inversor escolhido	156
Figura 107 – Desempenho do sistema fotovoltaico.....	156
Figura 108 - Inclinação: 13°, azimuth: -27° (Caso de estudo)	157
Figura 109 - Inclinação: 33°, azimuth: 0° (Caso ótimo).....	158
Figura 110 - Produção energética Vs. consumo durante o período solar	159
Figura 111 - Evolução da curva de poupança anual	160
Figura 112 - Curva referente ao tempo de amortização da instalação fotovoltaica	162
Figura 113 - Curva referente ao tempo de amortização da instalação fotovoltaica posicionada na orientação ótima	163
Figura 114 - Posicionamento dos painéis fotovoltaicos. Fonte: Autoria do autor	164
Figura 115 - Espaçamento entre fileiras para manutenção dos painéis e micro inversores. Fonte: Autoria do autor	164
Figura 116 - Produção de energia da instalação dimensionada VS o consumo de energia no ano de 2019.....	167

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica para a envolvente opaca [3].....	19
Tabela 2 - Valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica para vãos envidraçados [3].	21
Tabela 3 – Tipos de aberturas nos vãos envidraçados. Fonte: HUD (1999) e ABAL (2012).	24
Tabela 4 – Valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica para coberturas.....	26
Tabela 5 - Materiais utilizados como isolantes [5].....	29
Tabela 6 - Formas diretas e indiretas de aproveitamento da energia solar.....	37
Tabela 7 - Declinação solar para o 21º dia de cada mês.....	43
Tabela 8 - Características de diferentes tipos de madeira	48
Tabela 9 - Potência e tempo de vida para cada tipo de inversor [10].....	73
Tabela 10 - Tipos e características de baterias solares [10]	74
Tabela 11 - Lista dos principais componentes de uma bomba de calor	91
Tabela 12 - Valores de espessuras e coeficientes de transmissão térmica das paredes existentes	105
Tabela 13 - Descrição dos vãos do edifício	107
Tabela 14 - Consumo elétrico estimado para um período de três anos	118
Tabela 15 - Valores anuais e médias mensais	119
Tabela 16 - Custos referentes ao ciclo de energia contratado	120
Tabela 17 – Número de botijas de gás consumidas em determinada época do ano	120
Tabela 18 - Massa de biomassa consumida.....	121
Tabela 19 - Características da biomassa consumida	121
Tabela 20 – Condutibilidade térmica de materiais isolantes [5]	123
Tabela 21 - Espessura mínima necessária de isolante	123
Tabela 22 - Informação requisitada para a aplicação do sistema ETICS	124
Tabela 23 – Descrição dos processos relacionados com a aplicação do sistema ETICS e os consequentes custos	124

Tabela 24: Vãos sujeitos a intervenção	125
Tabela 25 – Modelo de vão envidraçado escolhido	128
Tabela 26 – Variáveis intervenientes no cálculo do U do vão envidraçado.....	128
Tabela 27 - Coeficiente de transmissão térmica par cada vão envidraçado, antes e depois da intervenção.....	129
Tabela 28 - Entidades fornecedoras dos vão e respetivos custos de aquisição	131
Tabela 29 - Diferentes tipos de chapéus de chaminés	132
Tabela 30 - Fração solar dos dois casos de estudo	141
Tabela 31 - Fração solar após o aumento do campo solar.....	143
Tabela 32 - Características do perfil estrutural escolhido	148
Tabela 33 - Custos dos componentes utilizados na instalação solar térmica	150
Tabela 34 - Custo energético e monetário derivado da necessidade de apoio auxiliar	150
Tabela 35 - Tempo de amortização para os vários casos estudados.....	151
Tabela 36 - Horário solar utilizado no cálculo do consumo energético	159
Tabela 37 - Poupança anual devido à instalação de painéis fotovoltaicos para a produção de energia.....	160
Tabela 38 - Custo dos componentes necessários na instalação fotovoltaica.....	161
Tabela 39 - Custo da instalação de acordo com o numero de painéis fotovoltaicos instalados	161
Tabela 40 - Tempo para amortização da instalação tendo em conta o número de painéis fotovoltaicos instalados	162
Tabela 41 - Síntese do caso de estudo	165
Tabela 42 - Valores de U das paredes e vãos envidraçados nas diferentes etapas do projeto	166
Tabela 43 - Fração solar da instalação solar térmica dimensionada.....	166
Tabela 44 - Percentagem do consumo satisfeito pela instalação fotovoltaica dimensionada	167
Tabela 45 - Resumo dos custos associados aos sistemas dimensionados	168
Tabela 46 - tempo de retorno dos sistemas dimensionados (solar térmico e solar fotovoltaico)	168

Abreviaturas

AQS – Águas quentes sanitárias.

RCCTE – Regulamento das características do comportamento térmico dos edifícios.

RSECE – Regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios.

SCE – Sistema nacional de certificação energética e de qualidade de ar interior em edifícios.

REH – Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação.

RECS – Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços.

ETICS – Sistema de isolamento pelo exterior.

PVC – Policloreto de vinil.

XPS – Poliestireno extrudido.

EPS – Poliestireno expandido.

LED – Díodo emissor de luz.

AM – Rácio de massa de ar.

STC – Condições *standard* de teste.

DC – Corrente contínua.

AC – Corrente alternada.

NOCT – Temperatura de operação normal das células fotovoltaicas.

VAWT – Turbina de eixo vertical.

HAWT – Turbina de eixo horizontal.

PCS – Poder calorífico superior.

PCI – Poder calorífico inferior.

COP – Coeficiente de *performance*.

FF – Fator de forma.

NUTS – Nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos.

ITE – Informação técnica dos edifícios.

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Enquadramento do tema

Grande parte do nosso tempo é passado no interior de edifícios, sejam eles de habitação ou de serviços. Estes representam o local onde trabalhamos, descansamos, nos alimentamos ou nos entretemos. Como tal, é imperativo que estes locais possuam as condições necessárias para acomodar os seus ocupantes.

Ao longo do tempo as necessidades consideradas básicas têm vindo a ser satisfeitas às custas da tecnologia, que evolui de acordo com o aparecimento de novos requisitos. Um destes requisitos trata-se da eficiência energética, aplicada individualmente a cada sistema e globalmente ao edifício. O melhoramento da eficiência de sistemas aplicados em edifícios é feito de maneira a proporcionar uma melhor qualidade de vida aos ocupantes, tal como diminuir os consumos de energia.

Um tema que tem vindo a impulsionar a eficiência energética são as alterações climáticas. Estas alterações no clima são resultado de vários fatores, entre eles a exploração insustentável de produtos com origem fóssil e a consequente emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera. Devido a estas preocupações com o clima, governos e corporações têm vindo a estabelecer metas para a redução da utilização dos combustíveis fósseis e a sua substituição por fontes renováveis como o sol ou o vento.

1.2 Razões e objetivos

Atualmente na União Europeia, os edifícios representam 40% do consumo total de energia, porém, grande parte deles não possuem os requisitos para ser considerados edifícios energeticamente eficientes. A eficiência energética é vista como uma atividade que visa melhorar o desempenho dos vários sistemas integrados nos edifícios, utilizando a energia de forma racional e sem perdas significativas. Isto torna-se importante no balanço energético de um edifício. O uso racional de energia implica uma poupança nos recursos necessários para a obtenção dessa energia. Tudo isto resume-se a uma poupança com gastos, desde o produtor até ao consumidor, mas também a uma redução no impacto ambiental associado à produção da energia utilizada pelo edifício. O objetivo da eficiência energética é tornar sustentável a habitabilidade em edifícios, tentando ser economicamente viável e com impactos ambientais reduzidos ou nulos. Cada vez mais torna-se imperativo que engenheiros e profissionais na área da energia foquem a sua atenção em fontes de energia renováveis tais como o sol, o vento, o interior do solo, a biomassa, os rios e os oceanos, utilizando-os de forma sustentável e economicamente rentável.

O uso de fontes não renováveis e com quantidades significativas de emissões de poluentes ainda é uma prática comum nos dias que correm, sendo que os efeitos desta utilização já se fazem sentir desde o século passado, tendo chegado a um ponto que muitos cientistas afirmam não ter retorno. Como consequência das emissões produzidas para satisfazer as crescentes necessidades energéticas a nível global, foram previstos aumentos de temperatura no mínimo 1,4°C caso as emissões sejam estabilizadas rapidamente, até um máximo de 5,8°C caso não sejam tomadas medidas imediatas no controlo de emissões poluidoras da atmosfera.

Ainda assim, tem-se sentido uma consciencialização global para com este tópico, e apesar de ainda haver um longo caminho a percorrer, comunidades e corporações têm unido esforços para tornar a situação atual numa situação sustentável e promissora, não só para as gerações atuais, mas também para as que ainda estão por surgir. Como tal, foi tomado um conjunto de medidas na tentativa de colmatar o atual cenário de catástrofe:

- As Nações Unidas solicitaram a todos os governos mundiais a assumirem as suas responsabilidades para com o tema das alterações climáticas relacionadas com a emissão de poluentes para a natureza;
- Em Bangucoque, representantes de cerca de 120 países assinaram um documento que delineia medidas e estratégias a serem seguidas pelos governantes para limitar o aquecimento global;

A União Europeia encorajou os seus estados-membros a alcançarem as seguintes metas:

- Até 2020: redução de emissões de gases com efeito de estufa em 20% em comparação aos níveis de 1990, aumento do uso de fontes de energia renováveis e adoção de medidas com o objetivo de atingir uma poupança energética de 20% relativamente aos níveis de consumo atuais.
- Até 2030: redução em pelo menos 40% das emissões de gases com efeito de estufa em relação a 1990; quota de 27% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo total; aumento de pelo menos 27% da eficiência energética.
- Até 2050: redução das emissões em 80 a 95% em relação aos níveis de 1990 [1].

Estas e outras medidas têm como finalidade alcançar uma situação global que esteja em harmonia com o ambiente e respeite os direitos de gerações futuras. Como tal, é necessário modificar e reduzir o consumo e energia:

- Por motivos éticos e sociais: Atualmente, 28% da população mundial consome 77% do total da energia produzida, enquanto 72% da população sobrevive com os restantes 23%;
- Por motivos estratégicos: alguns países europeus, especialmente Portugal, dependem de países fora da união europeia para satisfazer as suas necessidades de combustíveis. Alguns dos países que fornecem este tipo de combustíveis encontram-se em situações politicamente instáveis, tornando o fornecimento inconstante e sem garantias a longo prazo;
- Por motivos económicos: O custo anual da fatura energética representa uma parcela significativa das despesas de um lar [2].

A atual situação global requer uma nova revolução energética que retire do foco as fontes de combustíveis fósseis e que incentive ao desenvolvimento e utilização de fontes de energia renováveis. Para tal é necessária uma forte aposta na investigação do tema, mas também à sensibilização da matéria para com a população, sendo que cada ação individual contribui para a situação global.

Mais do que um trabalho de investigação e dimensionamento, este trabalho trata de informar e consciencializar o leitor das soluções existentes para as necessidades primárias relativamente à habitabilidade de um edifício.

1.3 Tipos de Edifícios

Existe a necessidade de distinguir os edifícios em duas categorias: edifícios de habitação em edifícios de serviços. Esta distinção é feita pois as necessidades energéticas para cada tipo de edifício serão diferentes. Mesmo na legislação existe a separação entre os dois tipos de edifícios. No caso dos edifícios de habitação, as necessidades a satisfazer são semelhantes de edifício para edifício, sendo possível criar um modelo com as características necessárias para a habitabilidade e obtenção de um certo nível de eficiência energética. Quanto aos edifícios de serviços, as necessidades energéticas diferem de acordo com a atividade que é praticada no edifício, tal como o horário de funcionamento e o número de pessoas que frequentam o espaço.

Este trabalho será focado nos edifícios de habitação unifamiliares (moradias), sendo o caso de estudo aplicado a um edifício habitacional unifamiliar. Porém, muitas das estratégias e tecnologias abordadas poderão ser aplicadas em qualquer tipo de edifício, sendo, no entanto, necessário dimensionar os sistemas de acordo com as necessidades energéticas do edifício.

Capítulo 2 – Pesquisa bibliográfica

2.1 Legislação

Com o crescimento do parque edificado europeu, surgiu a necessidade de regular e legislar certas medidas e parâmetros relacionados com a construção de edifícios e a gestão de recursos energéticos. São também realizados incentivos à produção de energia através de fontes renováveis e estipuladas metas referentes à redução de emissão de gases poluentes para a atmosfera. Grande parte da legislação em curso surge de diretivas publicadas pelo Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia. Também a nível nacional o Governo português publica e atualiza diretivas no Diário da República em que define valores e metodologias e aplicar, baseadas nas definidas pelo Parlamento Europeu.

Em seguida serão apresentadas sobre a forma cronológica as diretivas publicadas a nível europeu e nacional.

2.1.1 A nível europeu

Agosto de 1993: Divulgação da diretiva 93/76/CEF, com o objetivo de limitar as emissões de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera através do aumento da eficiência energética, com base nos seguintes programas:

- Certificação energética dos edifícios;
- Faturação das despesas de aquecimento, ar condicionado e água quente sanitária com base no consumo real;
- Financiamento por terceiros dos investimentos em eficiência energética no setor público;
- Isolamento térmico dos edifícios novos;
- Inspeção periódica das caldeiras;
- Auditorias energéticas nas empresas com elevado consumo de energia.

Março de 2007: Decretado o objetivo de redução de energia em 20% até 2020 através da aplicação do “Plano de ação para a eficiência energética: concretizar o potencial”. Este plano delinea políticas e medidas para o aumento da eficiência energética e passa por:

- Estabelecer requisitos dinâmicos de desempenho energético para produtos, serviços e edifícios;
- Melhorar a eficiência do setor transportador de energia e dos transportes;

- Aperfeiçoar os instrumentos de financiamento e incentivos económicos;
- Promover e aumentar a sensibilização para a eficiência energética.

O plano promove ainda a aplicação e alteração da Diretiva 2002/92/CE para o desempenho dos edifícios:

- Uma maior intervenção do setor público na demonstração de novos métodos e tecnologias;
- Requisitos mínimos de desempenho em grandes obras de renovação;
- Requisito mínimo de desempenho (em kWh/m²) em edifícios novos e restaurados, tal como em certos componentes;
- Requisitos vinculados para a instalação de tecnologias de aquecimento e refrigeração;
- Medidas de financiamento por parte dos estados-membros relativamente a investimentos de alta rentabilidade económica.

Fevereiro de 2009: Resolução do parlamento europeu para a redução em 20% nas emissões de gases com efeito de estufa para a atmosfera, redução em pelo menos 20% no consumo de energia e aumento em 20% da produção de energia em fontes renováveis, tendo como prazo o ano de 2020. Foram também propostas metas para 2050, nomeadamente a redução em 80% nas emissões de gases com efeito de estufa para a atmosfera, o aumento da eficiência energética em 35% e adquirir uma percentagem de 60% de energias renováveis no global da energia produzida.

Abril de 2009: Divulgação da diretiva 2009/28/CE, promovendo a utilização de energia proveniente de fontes renováveis, cabendo aos estados membros introduzir as medidas necessárias ao cumprimento dos objetivos estipulados. Para tal, as seguintes medidas poderão ser aplicadas:

- Regimes de apoio;
- Medidas de cooperação entre vários estados-membros e com países terceiros para alcançar os seus objetivos nacionais globais.

Maio de 2010: Publicação da diretiva 2010/31/CE. Esta diretiva dá conta dos requisitos mínimos alargados para frações autónomas, elementos construtivos e sistemas técnicos. São também estabelecidos requisitos de maneira a aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia (NZEB), a certificação energética de edifícios, a promoção e aumento de inspeções regulares das instalações de aquecimento e ar condicionado.

Outubro de 2012: Divulgada a diretiva 2012/27/UE. Esta diretiva é lançada após se ter verificado que o objetivo de alcançar 20% de eficiência energética até 2020 não seria atingida. É então implementado um aumento da promoção de eficiência energética tendo como incentivo um conjunto de regras destinadas a eliminar os obstáculos do mercado. Novamente, cabe aos estados-membros delinear estratégias que propiciem o aumento da eficiência energética, devendo os objetivos estipulados ser comunicados à Comissão Europeia. A diretiva impõe ainda aos estados-membros o estabelecimento de uma estratégia a longo prazo com fim a mobilizar investimentos de uma estratégia a longo prazo com fim a mobilizar investimentos na renovação do parque nacional de edifícios comerciais e residenciais. Os pontos fulcrais desta estratégia são:

- Uma panorâmica do parque imobiliário nacional baseado numa amostra estatística, se adequada;
- Identificação das abordagens rentáveis das renovações relevantes para o tipo de edifícios e para a zona climática;
- Políticas e medidas destinadas a incentivar as renovações profundas de edifícios rentáveis, incluindo renovações profundas por etapas;
- Uma perspetiva de futuro destinada a orientar a tomada de decisões em matérias de investimento por particulares, pela indústria de construção e instituições financeiras;
- Estimativa das economias de energia esperadas e de outros benefícios possíveis, com base em dados factuais.

2.1.2 A nível nacional

Fevereiro de 1990: Aprovado o decreto-lei nº 40/90, que colocou em prática o primeiro documento legal em Portugal a impor requisitos de projeto para novos edifícios e grandes renovações. Foi denominado por Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e teve como objetivo estabelecer e satisfazer as condições de conforto térmico no interior dos edifícios sem necessidades excessivas de energia.

Maio de 1998: Aprovado o decreto-lei 118/98 que pôs em prática o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Este regulamento introduziu regras de prevenção ao sobredimensionamento dos edifícios a nível da potência dos sistemas instalados, isto com vista ao melhoramento da eficiência energética.

Abril de 2006: Aprovados os decretos-lei nº79/2006 e decreto-lei nº80/2006 que proponham reformulações ao RSECE e RCCTE respetivamente. O novo RSECE proponha os seguintes objetivos:

- Definir as condições de conforto térmico e de higiene nas diferentes zonas do edifício;
- Melhorar a eficiência energética global dos edifícios em todo o tipo de consumo de energia;
- Estabelecer regras de eficiência dos sistemas de climatização que permitam melhorar o seu desempenho energético e garantir meios para a manutenção de uma boa qualidade de ar interior;
- Monitorizar as práticas de manutenção dos sistemas de climatização com regularidade.

Quanto ao RCCTE, passa a existir a exigência de taxas de renovação de ar no interior dos edifícios. Nesta data é também aprovado o decreto-lei 78/2006, dando origem ao Sistema Nacional de Certificação Energética e de Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (SCE) e apresentava os seguintes objetivos:

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e às condições referentes à qualidade do ar interior;
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos.

Agosto 2013: Aprovado o decreto-lei 118/2013 que transpõe a diretiva 2010/31/EU, sendo feita uma revisão na legislação nacional, passando a incluir num único diploma o Sistema de Certificação Energético dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Novembro de 2015: Aprovado o Decreto-lei no 251/2015. Este novo decreto atua sobre os equipamentos instalados tendo em conta a sua eficiência energética, tal como a entrada em vigor de avaliações periódicas aos sistemas instalados, realizadas de oito em oito anos.

Junho de 2016: Aprovado o Decreto-lei no 28/2016, relativo à melhoria do desempenho energético dos edifícios, e que transpõe a Diretiva no 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010.

2.2 Modelos de edifícios eficientes

O conceito de edifício eficiente é já utilizado desde o século passado, no entanto tem vindo a evoluir com a introdução no mercado de novas tecnologias. Como tal, ao longo do tempo têm surgido modelos de edifícios que incorporam as características necessárias para serem considerados energeticamente eficientes. Estes modelos são estudados e dimensionados de maneira a utilizar da melhor forma os elementos constituintes, tal como os elementos em seu redor e servem como base à construção de edifícios e à implementação de sistemas de forma eficiente.

Serão apresentados dois dos modelos mais conhecidos, o modelo *Passivhaus* e o modelo *NZEB*, numa tentativa de familiarizar o leitor com os edifícios considerados altamente eficientes a nível energético.

2.2.1 Modelo *Passivhaus*

O conceito de edifício passiva foi iniciado por Bo Adamson e Wolfgang Feist em 1988, sendo posto em prática com base na pesquisa e experiência dos construtores norte americanos, que devido à crise do petróleo de 1970 foram obrigados a dimensionar e construir edifícios com necessidades reduzidas de energia. Este conceito assenta em dois princípios: maximizar os ganhos energéticos e minimizar as perdas energéticas. Estes ganhos são obtidos pela captação da radiação solar, mas também através de ganhos internos relativos ao calor latente irradiado dos seus ocupantes e do calor irradiado de equipamentos domésticos. De maneira a reduzir perdas de calor estes edifícios possuem um grau elevado de isolamento, um controlo rigoroso das pontes térmicas e das infiltrações de ar, sistemas de caixilharias e vidros de elevado desempenho e um bom aproveitamento da radiação solar de modo a que a ventilação com a recuperação de calor seja suficiente para a sua climatização, sem recorrer a sistemas adicionais. Este modelo possui requisitos muito específicos relativos aos valores e metas considerados fundamentais:

- As necessidades de aquecimento e de arrefecimento não poderão exceder os $15\text{kWh}/(\text{m}^2\text{ano})$;
- Como alternativa ao ponto anterior, a carga de aquecimento ou de arrefecimento não poderá exceder os $10\text{W}/\text{m}^2$;
- A estanquidade ao ar, que terá de ser verificada por entidade independente através de um teste específico e da emissão do respetivo relatório, com um valor de renovações do volume de ar do edifício inferior a $0,6\text{h}^{-1}$, aferidos com uma pressurização de 50Pa ;

- As necessidades de energia primária para a totalidade do aquecimento, arrefecimento, AQS e eletricidade não poderão exceder os 120kWh/(m²ano);
- A temperatura no interior do edifício deve ser no mínimo de 20 °C no Inverno e de 26°C no Verão;
- A temperatura excessiva, acima dos 26°C, não pode ocorrer em mais do que 10% do tempo.

De maneira a atingir estes requisitos, é sugerida uma combinação de diferentes soluções:

- Definir soluções através de estratégias solares passivas: sempre que possível os edifícios devem ter uma forma compacta para reduzir a sua área de exposição ao exterior, e possuir cerca de 75% dos vãos envidraçados orientados a Sul;
- Isolamento: os edifícios deverão possuir elevados níveis de isolamento de maneira a reduzir as perdas pelas paredes, cobertura e pavimentos, com especial atenção no tratamento das pontes térmicas;
- Aplicação de vãos envidraçados de elevado desempenho: deve ser tida em consideração a qualidade da caixilharia, o tipo de vidros e espaçadores, tal como o posicionamento e isolamento da caixilharia no vão;
- Garantir a estanquidade do edifício: deve definir-se uma barreira contínua à passagem do ar e uma selagem de todas as penetrações da envolvente. Deste modo consegue-se uma redução das infiltrações do ar que atravessaria a envolvente, permitindo uma maior eficiência do sistema de ventilação com recuperação de calor;
- Sistema de ventilação com recuperação do calor: o sistema deve ter uma eficiência superior a 75% para garantir a qualidade de ar interior e o conforto dos utilizadores. Como o edifício terá de ser suficientemente estanque, a taxa de renovação de ar pode ser reduzida para o valor de 0,4h⁻¹, garantindo uma boa qualidade do ar interior. O aquecimento adicional pelo ar pode ser conseguido por uma pequena bomba de calor ou por energia solar térmica;
- Sistemas eficientes para gerar calor/frio: para além da ventilação com recuperação de calor, é usual a utilização de uma micro bomba de calor que aproveita o calor do ar extraído e aquece o ar insuflado e as águas quentes sanitárias. Para além dos ganhos solares, um edifício Passivhaus potencia os ganhos internos, nomeadamente o calor gerado pela iluminação e eletrodomésticos assim como o calor gerado pelas pessoas e animais dentro de casa, não sendo necessários sistemas adicionais de aquecimento central.
-

Existem cerca 37.000 edifícios Passivhaus em todo o mundo, sendo que 4.500 são certificados de acordo com os requisitos *Passivhaus*. Para que um edifício seja certificado como *Passivhaus*, terá de ser certificado na fase de projeto e posteriormente no final da obra. A certificação é realizada pelo *Passivhaus Institut* ou por outra entidade credenciada pelo *Passivhaus Institut*.

2.2.2 Modelo NZEB

Este conceito foi criado para caracterizar os edifícios que possuem necessidades nulas (ou quase nulas) de energia derivada da rede. Toda a energia é produzida por fontes renováveis, tipicamente no local ou nas imediações do edifício. Estes edifícios têm a vantagem de contribuir em menor escala na emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera, comparando com outros tipos de edifícios. Esta característica é vista como uma mais-valia numa época em que o consumo de combustíveis fósseis e a emissão de gases de combustão para a atmosfera tornou-se um problema ambiental a nível mundial. Isto levou a União Europeia a estipular como meta que, a partir de 2020, todos os edifícios novos devem cumprir os requisitos de um *NZEB*, a fim de alcançar a meta de redução da emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera. A tecnologia instalada neste tipo de edifícios é tipicamente de alta eficiência energética, em que a energia elétrica é gerada por painéis fotovoltaicos e/ou turbinas eólicas, o aquecimento das águas sanitárias é feito por meio de coletores solares, e a climatização do espaço interior é proporcionado através da instalação de bombas de calor com coeficiente de performance (COP) elevado. Relativamente às envolventes exteriores e interior, a aplicação de isolantes térmicos de elevada qualidade, tal como vãos envidraçados com vidro duplo e até triplo, permite uma redução significativa nas perdas de calor por condução e convecção, sendo que isto se traduz numa menor necessidade energética. Devem também ser adotadas estratégias consideradas solar passivas, tal como no modelo *Passivhaus*. O conceito de *NZEB* é, no entanto bastante geral, sendo necessário apresentar uma definição mais rigorosa deste modelo. Para isso é necessário delinear quais os objetivos do projeto, tendo em conta vários cenários. Com isto, apresentam-se as seguintes definições do *NZEB*:

- *Net-Zero Site Energy* – Produz no mínimo tanta energia quanto aquela que consome ao longo de um ano através de fontes renováveis;
- *Net-Zero Energy Cost* – O custo associado à compra de energia à rede necessária para a utilização no edifício ao longo de um ano é compensada pela venda à rede da energia produzida pelo edifício. Isto é, o balanço da energia do edifício é zero ou negativa;

- *Net-Zero Energy Emissions* – Produção e exportação suficiente de energia sem emissões para compensar a energia obtida a partir de combustíveis que produzam emissões de gases poluentes para a atmosfera ao longo de um ano (*Zero Carbon Building*).

Apesar das diferentes definições do conceito, não se pode considerar uma definição correta pois dependem dos objetivos do projeto, tendo cada definição do conceito *NZEB* uma diferente influência na projeção do edifício. O maior obstáculo na implementação deste tipo de edifício encontra-se no elevado custo inicial dos materiais e da tecnologia necessária a implementar, apesar de que se for bem projetado e implementado, um edifício com zero necessidades energéticas permite um alívio financeiro a nível de gastos energéticos cobrados na fatura por parte da rede de distribuição. Ainda assim, tem-se vindo a datar que cada vez mais estes custos têm vindo a diminuir, fruto da evolução global tecnológica e da preocupação a nível ambiental.

2.3 Clima

No momento da construção ou melhoramento de um edifício, as condições climáticas locais devem ser estudadas a pormenor, pois serão estas as condições sobre as quais o edifício irá estar sujeito. As condições climáticas que mais afetam o edifício em termos energéticos são a temperatura, a humidade, a radiação solar e a velocidade dos ventos. Outras características que podem influenciar a eficiência do edifício serão a presença de vegetação ao redor e a proximidade com outros edifícios.

A temperatura exterior influencia as trocas de calor com o interior do edifício, sendo estas trocas induzidas pelo gradiente de temperaturas entre o ambiente interior e o exterior. Quanto maior for este gradiente de temperaturas, maiores serão as trocas de calor entre os dois espaços. Estas trocas variam ao longo do dia devido às diferenças de temperatura diária, tal como ao longo do ano com as mudanças de estações. No Inverno a temperatura exterior possui um menor valor quando comparada com a temperatura de conforto interior, o que induz à existência de perdas térmicas no sentido interior para o exterior. No Verão sucede-se o oposto, a temperatura exterior possui um maior valor quando comparada com a temperatura de conforto interior, induzindo ganhos de calor, o que irá aumentar a temperatura interior, algo que será indesejado.

A humidade atmosférica pode ser traduzida como a quantidade de vapor de água presente na atmosfera. Já a humidade relativa é definida como a relação entre a quantidade de humidade existente numa massa de ar e a quantidade máxima suportada pela mesma massa. O nível de humidade no interior do edifício deve ser, se possível, monitorizado e mantido dentro de certos níveis de maneira a manter um nível de conforto adequado. A humidade em excesso afeta os habitantes, o edifício e os aparelhos eletrónicos existentes no interior do mesmo. No corpo humano, uma atmosfera com elevado nível de humidade irá dificultar a evaporação do suor, obrigando o organismo a esforços adicionais para manter a temperatura corporal a um nível aceitável. Nos edifícios, níveis elevados de humidade irão dar origem a patologias nas paredes interiores tais como a criação de bolores e mofo, colocando em causa a saúde dos habitantes e a integridade das paredes. Os aparelhos eletrónicos também podem ser danificados devido a altos teores de humidade. A condutividade de certos isolantes pode ser posta em causa, levando a curto-circuitos dentro dos aparelhos, causando danos permanentes ao aparelho.

A radiação solar que incide sobre o edifício constitui uma fonte de calor. Na estação de aquecimento (Inverno) este calor adicional contribui para o aumento da temperatura interior, sendo este efeito desejado. Na estação de arrefecimento (Verão) o aumento de

temperatura derivado da radiação solar pode tornar-se indesejado, sendo necessário tomar medidas para minimizar este ganho.

Capítulo 3 – Características dos Edifícios

3.1 Forma, localização e orientação

A forma de um edifício possui uma elevada influência no desempenho energético do mesmo. Esta forma diz não só respeito à geometria do edifício, mas também à dimensão e disposição de elementos como a envolvente opaca (paredes, coberturas e pavimentos), vão envidraçados e opacos (janelas e portas). A necessidade de climatização (aquecimento e arrefecimento) de um edifício está aliada ao fluxo contínuo de calor que é transferido entre o ambiente interior e exterior do edifício. Esta transferência pode ser contabilizada pelo rácio entre a superfície em contacto com o exterior e o volume interior, também denominado por fator de forma (FF). Desta maneira, quanto maior for a superfície em relação ao volume envolvente, maior será a transferência de calor e consequentemente menor será o fator de forma. A figura 1 ilustra o fator de forma aplicado a edifícios com diferentes geometrias.

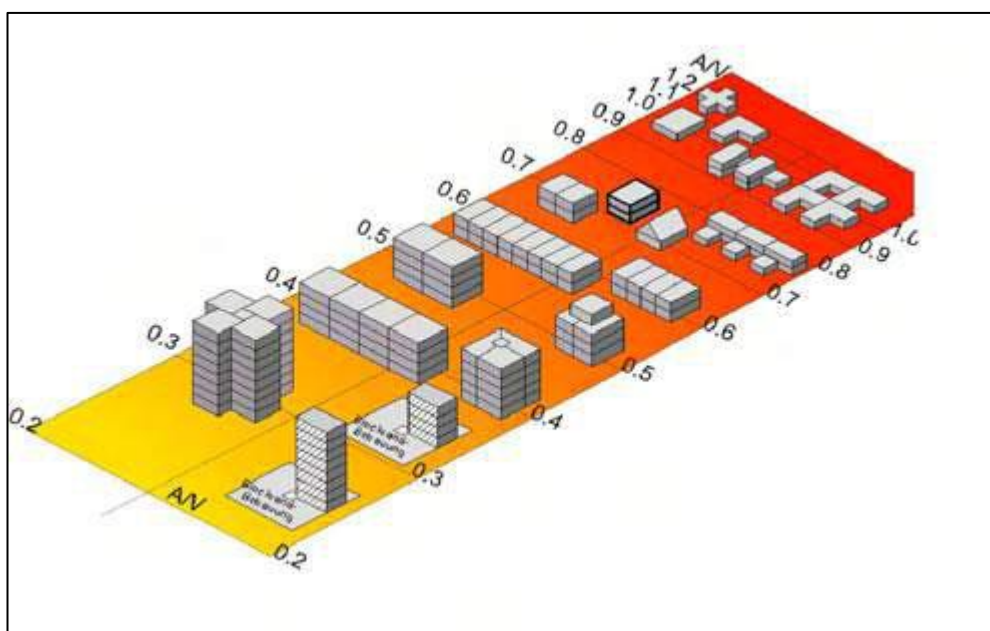


Figura 1 - Fator de forma para diversas geometrias de edifícios. Fonte: www.energycentral.com

A localização geográfica do edifício é igualmente importante para o cálculo das necessidades térmicas e dos ganhos energéticos. A determinação do local de implantação de um edifício permite prever quais as condições climáticas a que o edifício estará sujeito. O RCCTE divide o território português em três zona climáticas de Verão (V1, V2 e V3) e três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3), como ilustrado na figura 2. Esta divisão é feita para diferenciar as regiões tendo em conta a duração da estação de aquecimento, a

temperatura exterior de projeto de verão e a amplitude térmica média diária do mês mais quente. Isto leva o RCCTE a estipular diferentes valores de referência tendo em conta a zona climática escolhida.

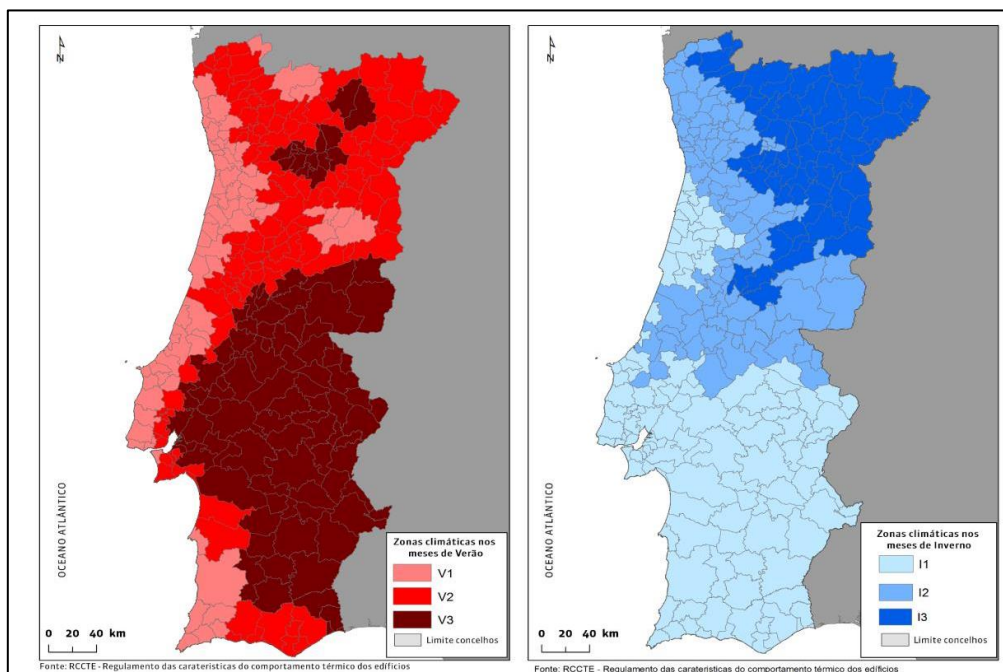


Figura 2 - Mapa das Zonas climáticas de Portugal. Fonte: RCCTE

A orientação de um edifício refere-se à sua posição em relação aos pontos cardeais. Este parâmetro é de extrema importância para a captação solar. O sol efetua um trajeto de Este para Oeste diariamente, isto referente a todo o planeta. Porém é necessário fazer a distinção entre os dois hemisférios, sendo que no hemisfério Norte o Sol encontra-se orientado a Sul, enquanto que no hemisfério Sul o Sol encontra-se orientado a Norte. Um edifício terá a sua capacidade de captação solar otimizada quando estiver orientado corretamente. Esta orientação resulta em ganhos energéticos com bastante importância para o conforto térmico em qualquer edifício. No entanto, é necessário ter em atenção que os ganhos pretendidos durante a estação de aquecimento são ganhos a evitar durante a estação de arrefecimento. Esta orientação é aplicada geralmente aos vãos envidraçados para a captação de luz solar, mas também a coberturas, visto estas serem utilizadas como apoio a aparelhos de captação solar como coletores térmicos e painéis fotovoltaicos. A figura 3 ilustra um edifício cujos vãos envidraçados estão orientados de maneira a captar a radiação solar eficientemente. É ainda possível verificar a existência de um telheiro para o controlo da radiação durante a estação quente.

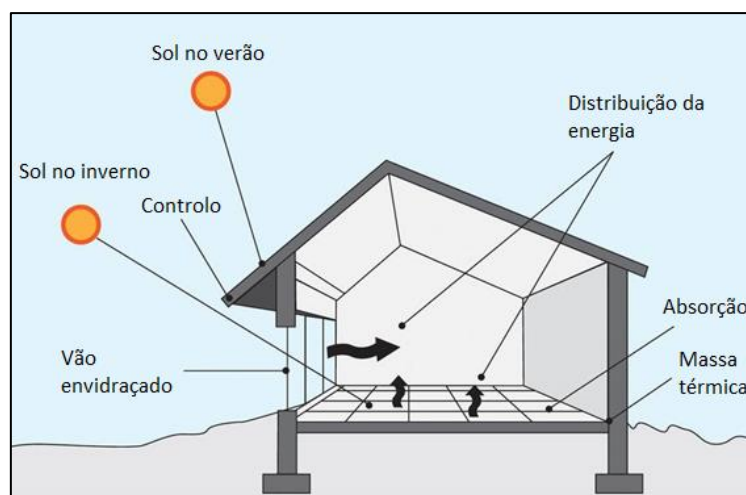


Figura 3 - Edifício eficientemente orientado com o sol. Fonte: Adaptado de Green Building Advisor

3.2 Envolvente

Considera-se como envolvente o conjunto de elementos que criam a separação entre o ambiente exterior e interior de um edifício. Destes elementos fazem parte a envolvente opaca e os vãos. Desde materiais até à forma, estes elementos diferem bastante entre si, sendo a escolha de feita com base no gosto estético do projetista, mas também nas necessidades térmicas do edifício. O conhecimento do comportamento de cada um destes elementos é crucial ao projeto eficiente de um edifício. Serão agora descritos os vários elementos associados à envolvente dos edifícios e algumas das tecnologias utilizadas.

3.2.1 Paredes

Considera-se como paredes da envolvente opaca os elementos construtivos do edifício que limitam a passagem de ar através do edifício. O termo opaco é atribuído devido ao facto destes elementos impedirem a passagem de energia luminosa do exterior do edifício para o interior e vice-versa.

Em países do sul e centro da europa, a envolvente opaca é frequentemente composta por paredes de enchimento em alvenaria. Esta solução apresenta resultados viáveis no cumprimento de requisitos como a estanquicidade, a segurança contra incêndios, a boa qualidade do ar, o conforto térmico e o conforto acústico. A implementação deste tipo de paredes em Portugal teve o seu advento nos anos 60 com a disseminação das construções em betão armado. Desde então estes elementos foram sofrendo alterações impulsionadas pela introdução de novas técnicas e novos materiais, mas também com a implementação de requisitos térmicos nos edifícios. A figura 4 ilustra a evolução das paredes de alvenaria em Portugal ao longo do tempo.

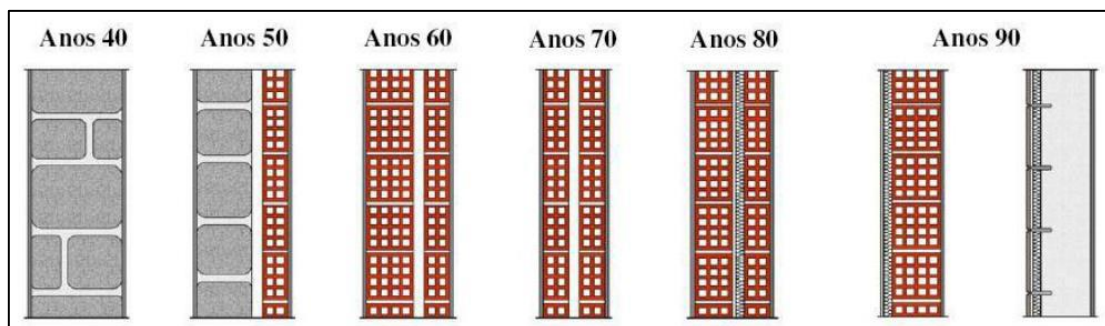


Figura 4 - Evolução das paredes de alvenaria em Portugal. Fonte: Manual de Alvenaria de Tijolo, Associação Portuguesa de Indústria Cerâmica

Verifica-se que nos anos 40 as paredes eram constituídas por blocos de pedra maciça, com elevada inércia térmica e elevada condutibilidade térmica. Nos anos 50 foi reduzida a espessura do bloco de pedra e adicionado um pano simples em alvenaria. Apenas nos anos 60 é que foi introduzida a parede construída unicamente por elementos de alvenaria. Nos anos 80 foi iniciada a prática da aplicação de materiais isolante entre os panos de alvenaria. Nos anos 90, a solução de parede dupla começou a ser abandonada, dando lugar à parede simples com isolamento térmico pelo exterior. Uma outra alteração que se deu foi a substituição das unidades de alvenaria de furação horizontal pelos denominados tijolos térmicos e acústicos, cuja furação encontra-se na posição vertical e possuem um melhoramento nas propriedades térmicas e acústicas.

A legislação portuguesa apresenta alguns valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica (U) com vista ao bom desempenho energético da envolvente opaca dos edifícios. A tabela 1 apresenta os valores de referência impostos aos vãos envidraçados tendo em conta a zona climática onde o edifício está localizado.

Tabela 1 - Valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica para a envolvente opaca [3].

Zona climática	I1	I2	I3
U_{REF} (W/m ² °C)	0,50	0,40	0,35

No caso de edifícios cujas características térmicas da sua envolvente opaca sejam ineficientes devido à falta de isolamento térmico, é possível adicionar o isolamento em falta através da aplicação de um sistema ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*). Este é um sistema de isolamento pelo exterior que permite o melhoramento do comportamento térmico do edifício através da aplicação de materiais sobre as paredes já existentes, como ilustrado na figura 5.

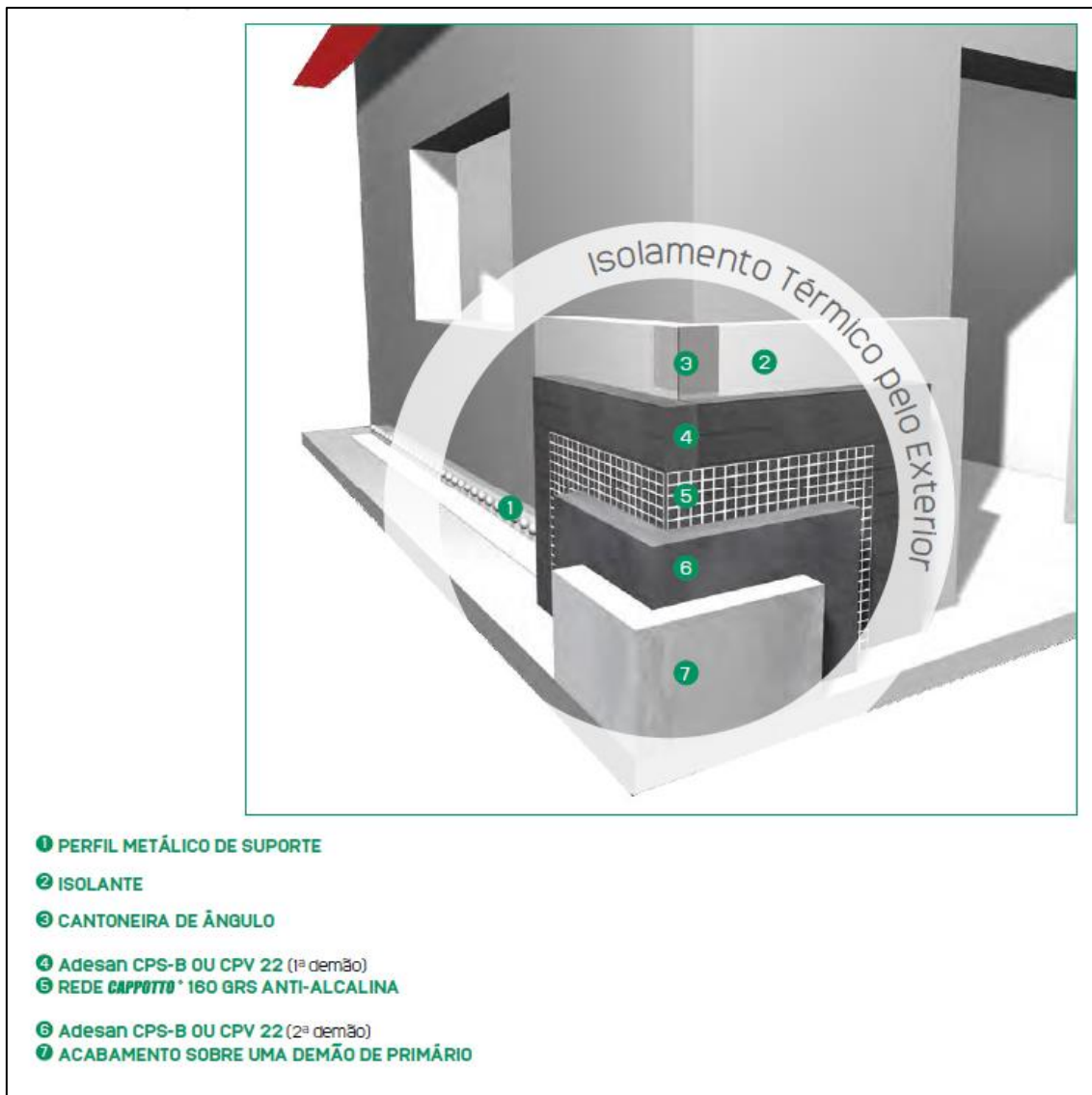


Figura 5 - Descrição dos elementos do sistema ETICS. Fonte: Soluções de isolamento pelo exterior, maisurbana.

O facto de ser aplicado pelo exterior traz consigo duas vantagens: a eliminação de pontes térmicas e o aproveitamento da inércia térmica da envolvente opaca. A eliminação de pontes térmicas permite reduzir a transferência de calor entre o interior e o exterior, enquanto que o aproveitamento da inércia térmica permite reduzir a variação de temperatura no interior do edifício quando existem grandes flutuações na temperatura exterior. Esta solução é bastante atrativa pois não causa a destruição da envolvente existente, porém o preço de aquisição deste sistema faz com que seja pouco utilizada na maioria dos edifícios de habitação.

3.2.2 Vãos

São considerados como vão todos os elementos que conferem uma passagem entre o ambiente exterior e interior de um edifício. Estes vãos são ainda divididos em duas categorias: vãos envidraçados e vãos opacos.

Os vãos envidraçados correspondem aos elementos existentes num edifício que além de conferir o deslocamento de objetos ou de ar para o interior do edifício, permitem ainda a entrada de radiação no edifício. Estes vãos desempenham um papel crucial no comportamento térmico do edifício. Por um lado, eles contribuem com ganhos de calor derivados da radiação solar. Porém são também responsáveis pela dissipação de calor através do efeito de condução térmica, pelas perdas devido a infiltrações de ar ou pela simples abertura do vão. É estimado que 25 a 30% das necessidades de aquecimento são devidas a perdas de calor com origem nos envidraçados [4]. Com vista ao bom desempenho energético dos vãos envidraçados instalados nos edifícios, a legislação portuguesa apresenta alguns requisitos mínimos em termos de coeficiente de transmissão térmica. A tabela 2 apresenta os valores de referência impostos aos vãos envidraçados tendo em conta a zona climática onde o edifício está localizado.

Tabela 2 - Valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica para vãos envidraçados [3].

Zona climática	I1	I2	I3
U_{REF} (W/m ² °C)	2,80	2,40	2,20

Os fatores mais importantes na avaliação dos vãos envidraçados são a área da superfície envidraçada, o tipo de vidro utilizado e o tipo de caixilharia.

Em termos de áreas do envidraçado, esta variável está diretamente relacionada com a sua orientação. A superfície dos vãos envidraçados orientados para sul deve ocupar 40% da superfície total de maneira a permitir ganhos substanciais durante a estação de aquecimento e não incorrer a ganhos excessivos durante a estação de arrefecimento. Os vãos envidraçados orientados a este e oeste não influenciam no equilíbrio térmico do edifício durante a estação de aquecimento. É na estação de arrefecimento que os ganhos neste envidraçados se fazem sentir, pelo que será necessária a aplicação de dispositivos de sombreamento que reduzam estes ganhos. Em relação aos vãos envidraçados orientados a norte, estes devem de ser dimensionados com a área mínima necessária para a iluminação do espaço interior, pelo que não terão contributo algum com ganhos, apenas perdas. Uma vez que os vidros servem de fronteira entre o ambiente exterior e interior, é de elevada importância a aplicação de soluções que minimizem a transferência de calor entre os dois ambientes. Nesta situação importa ter em conta o número de laminas de vidro que constituem o vão envidraçado, tal como o espaçamento entre eles e qual o gás

utilizado para preencher esse espaço. Os vãos envidraçados podem possuir desde uma até três laminas de vidro, sendo que quanto maior for o número de vidros, maior será a capacidade de isolamento do vão. Porém, um maior número de vidros resulta na diminuição da radiação solar que chega ao interior do edifício devido ao efeito de dissipação. A camada de ar entre laminada desempenha também o papel de isolante térmico, uma vez que o ar trata-se de um fraco condutor térmico. O aumento desta camada de ar resulta então numa diminuição da capacidade de transmissão de calor do vão. Outra modificação que pode ser feita para reduzir ainda mais a transmissão de calor é substituir o ar entre as laminas de vidro por um outro gás com melhores propriedades isolantes, como é o caso do árgon. Este trata-se de um gás inerte que possui uma condutividade térmica 34 vezes inferior à do ar atmosférico.

Ainda na temática dos vidros, existem vidros de baixa emissividade, que tal como o nome indica possuem um baixo coeficiente de emissividade. A emissividade é a propriedade que os materiais possuem para irradiar energia. Ao diminuir esta propriedade, aumenta-se a capacidade isolante do material. Através da aplicação de revestimentos de baixa emissividade, é possível reduzir a quantidade de radiação ultravioleta e infravermelha que atravessa o vidro. A aplicação deste tipo de vidros em vãos envidraçados já é uma prática comum devido aos ganhos energéticos associados a esta solução.

A caixilharia de um vão envidraçado diz respeito à moldura que está embutida no edifício e que acopla os vidros. Nos que diz respeito a este elemento, é necessário ter em mente duas características: o material que compõe a caixilharia e o tipo de abertura que oferece. Existe uma certa variedade de materiais que podem ser utilizados na construção da caixilharia. Os mais utilizados são a madeira, o alumínio e o PVC.

A madeira trata-se do primeiro material utilizado na manufatura de caixilharias para vãos envidraçados. A sua abundância na natureza e à facilidade de moldagem foram as características que tornaram este material tão popular. A nível de características mecânicas, a madeira resiste a esforços de tração e compressão, apresentando também boas condições de isolamento térmico e acústico. O lado negativo do uso de madeira para caixilharia está relacionado com a vulnerabilidade a agentes externos como humidade ou radiação solar, reduzindo o tempo de vida da caixilharia. Com o desenvolvimento de diferentes materiais para o uso em caixilharia, a madeira está cada vez mais a cair em desuso.

O alumínio constitui a melhor solução aplicada a caixilharias dentro do espectro de materiais metálicos. Trata-se de um material obtido através do processo de extrusão, leve,

resistente a esforços e com uma elevada durabilidade. Apresenta, no entanto, uma elevada condutibilidade térmica. Uma forma de minimizar a perdas de calor por condução passa por adicionar um corte no interior da caixilharia, como ilustrado a figura 6.



Figura 6 - Vão envidraçado com corte térmico incorporado. Fonte: aluminiosfilipe.com


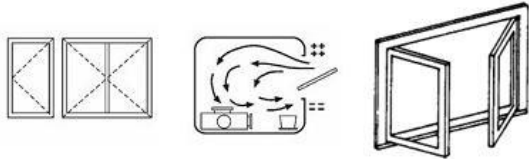
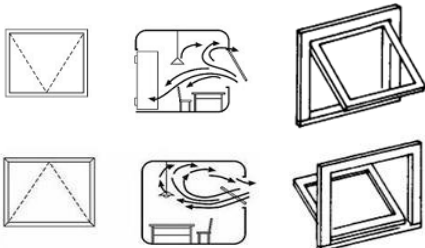
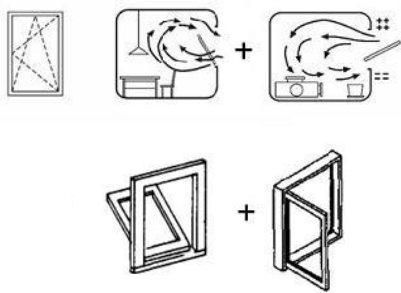
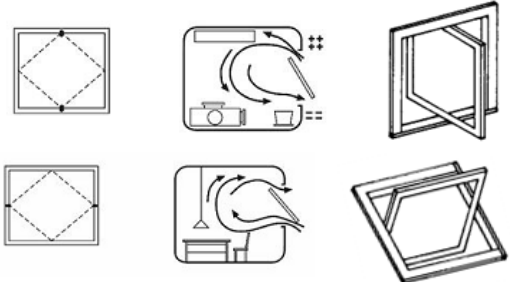
O PVC trata-se do material mais recente a ser utilizado na produção de caixilharia e é também aquele que apresenta as melhores características funcionais. Tal como o alumínio, é um material obtido por extrusão e apresenta as seguintes características:

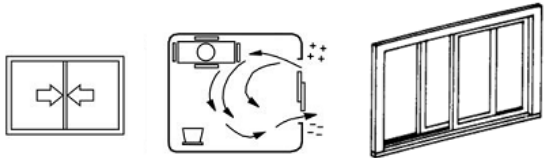

- Propriedades isolantes bastante superiores aos demais materiais;
- Estabilidade dimensional;
- Material leve;
- Resistência ao choque;
- Resistência a agentes exteriores.

Comparativamente aos materiais abordados anteriormente, o PVC é aquele que mais se destaca em todos os aspetos necessários para o funcionamento eficiente de uma caixilharia para vão envidraçados.

É também importante distinguir os diferentes tipos de aberturas que um vão pode realizar. A tabela 3 apresenta alguns exemplos do tipo de abertura possível em vão envidraçados.

Tabela 3 – Tipos de aberturas nos vão envidraçados. Fonte: HUD (1999) e ABAL (2012).

Tipo de vão	Descrição	Representação
Vão fixo	Vão constituído por um aro fixo a toda a volta do vão e não permite contacto entre o interior e exterior.	
Vão de batente	Este vão pode ser aberto para o interior ou para o exterior. Permite a abertura completa do vão para uma boa ventilação e limpeza. Apresenta boa estanquidade ao ar e água.	
Vão basculante	Vão com abertura para o interior. Permite uma ventilação moderada mesmo em períodos de chuva. Apresenta boa estanquidade à água e ao ar.	
Vão oscilobatente	Permite duas formas de abertura, abertura na vertical (basculante) e abertura na horizontal (batente). Desta maneira é possível regular o caudal de ar.	
Vão pivotante	A abertura deste vão realiza-se em torno de um eixo vertical ou horizontal. A sua rotação permite uma boa ventilação do ambiente interior e permitem também uma fácil limpeza.	

Vão de correr	Realiza a abertura movimentando-se horizontalmente no plano da janela. Permite uma ventilação de 50% da área total do vão. Apresenta alguns problemas de estanquidade do ar e água.	
Vão de guilhotina	Movimentado por deslizamento vertical no plano da janela. Permite uma ventilação de 50% da área total do vão.	

Os vãos opacos correspondem aos elementos utilizados para controlar o acesso entre o exterior e o interior do edifício como por exemplo portas ou portões. Estes vãos são fabricados nos mesmos materiais utilizados em vãos envidraçados, sendo que possuem as mesmas características térmicas. A grande diferença está na ausência das lamina de vidro, sendo a sua constituição feita apenas de caixilharia. Em relação aos requisitos térmicos necessários, a legislação portuguesa não prevê qualquer valor mínimo em termos de coeficiente de transmissão térmica, embora seja recomendado a instalação de vãos com um isolamento eficiente.

Em relação à abertura, os vãos em batente são efetivamente o tipo de vão mais utilizado no controlo do acesso entre o ambiente exterior e o interior de um edifício. O funcionamento deste tipo de vãos é bastante semelhante ao referido para os vãos envidraçados de batente. A figura 7 ilustra o funcionamento de um vão opaco de batente.

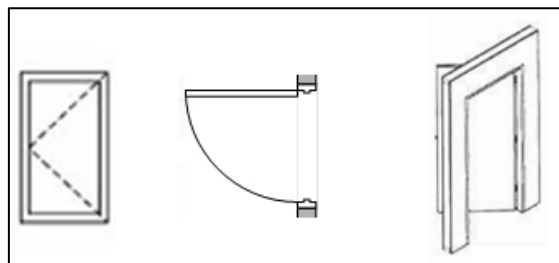


Figura 7 - Vão opaco de batente. Fonte: HUD (1999) e ABAL (2012).

3.2.3 Coberturas

A cobertura representa um elemento fundamental para o conforto térmico de um edifício. É estimado que cerca de 30% das perdas térmicas têm lugar na cobertura de um edifício. Tal como a envolvente opaca, a construção de coberturas tem sofrido alterações no tempo, numa tentativa de melhorar as suas características térmicas. A figura 8 demonstra a evolução cronológica ocorrida em Portugal.

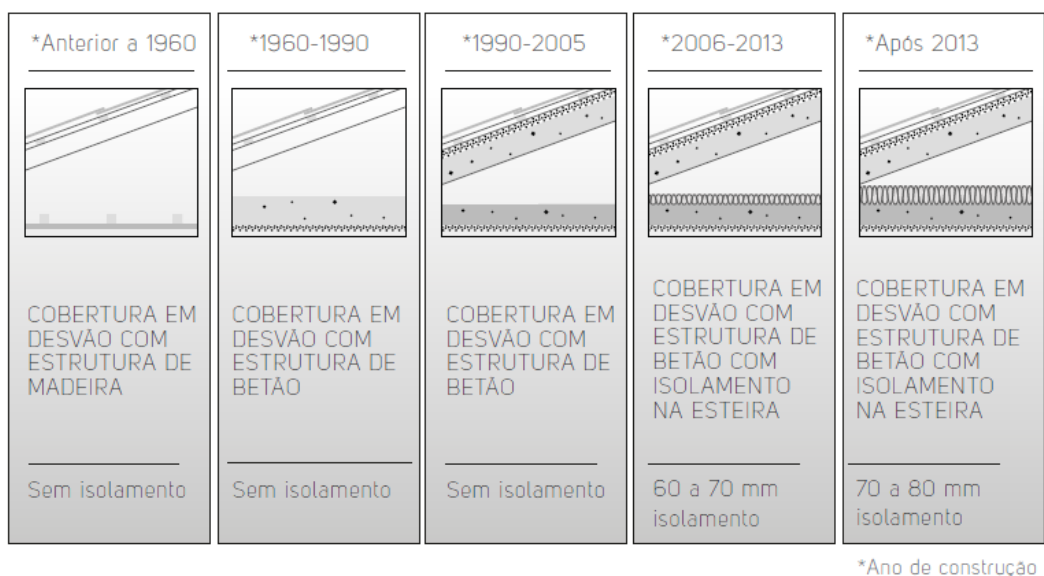


Figura 8 - Evolução da construção de coberturas em Portugal. Fonte: 10 SOLUÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, Isolamento de coberturas, SCE.

É possível verificar que até ao ano de 1990, a construção de coberturas era simples e desprovida de elementos isolantes. Com a entrada em vigor do primeiro regulamento de comportamento térmico dos edifícios em 1990, a construção de coberturas passou a ser dotada de elementos isolantes sobre a esteira horizontal. A legislação portuguesa estipula valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica, valores esses apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica para coberturas.

Zona climática	I1	I2	I3
U_{REF} (W/m ² °C)	0,40	0,35	0,30

3.2.4 Pavimentos

Considera-se como pavimentos os elementos horizontais em contacto com o terreno e que podem estar sob espaços de interiores, espaços não uteis e espaços exteriores. Nos edifícios, as perdas de calor através dos pavimentos podem atingir 20% das perdas totais,

valor efetivamente importante e que justifica um cuidado especial em relação ao comportamento térmico dos pavimentos. A temperatura superficial do solo poderá ser bastante inferior à temperatura ambiente interior, o que provoca em edifícios com pavimentos não isolados, a falta de conforto. A forma mais fácil e eficiente de evitar o desconforto consiste em isolar termicamente o pavimento com um material de isolamento térmico adequado para esta aplicação.

Em termos de constituição, um pavimento é composto por diversas camadas de diferentes materiais: laje maciça, isolante térmico, betonilha e por fim o pavimento interior.

A laje trata-se do primeiro elemento do pavimento a ser instalados. Este serve de base ao edifício, sendo o elemento que contacta diretamente com o solo exterior. É também sobre este elemento que são alojadas as instalações elétricas e canalizações. Em seguida é aplicada uma camada de isolamento, tipicamente XPS, de maneira a reduzir a transferência de calor com o solo exterior. A aplicação de isolamento em pavimentos deve ser praticada não só em pavimentos em contacto com o solo, mas também em contacto com o ar exterior, como se de uma parede exterior se tratasse. Sobre o isolante é aplicada uma camada de betonilha, uma espécie de reboco horizontal que permite a regularização das superfícies. No caso da existência de pisos radiantes hidráulicos, estes são normalmente instalados entre duas camadas de betonilha, como ilustrado na figura 9. Sobre a betonilha pode ainda ser aplicada uma tela para pavimentos com o intuito de melhorar o comportamento acústico e térmico do pavimento. Por fim é aplicado o pavimento superficial interior. Existem diversos materiais que podem ser aplicados em pavimentos interiores: cerâmica, madeira ou PVC. A escolha do material para o pavimento interior recai sobre alguns fatores como o aspeto estético e a sensação térmica proporcionada pelo material. Pavimentos em cerâmica oferecem uma pior sensação térmica devido à sua elevada transferência de calor. Porém, na existência de pisos radiantes, este material oferece uma melhor eficiência na condução de calor até ao interior do edifício, sendo uma melhor opção de escolha comparativamente à madeira e ao PVC. Soalhos de madeira ou PVC oferecem uma melhor sensação térmica uma vez que não transferem calor com tanta facilidade.

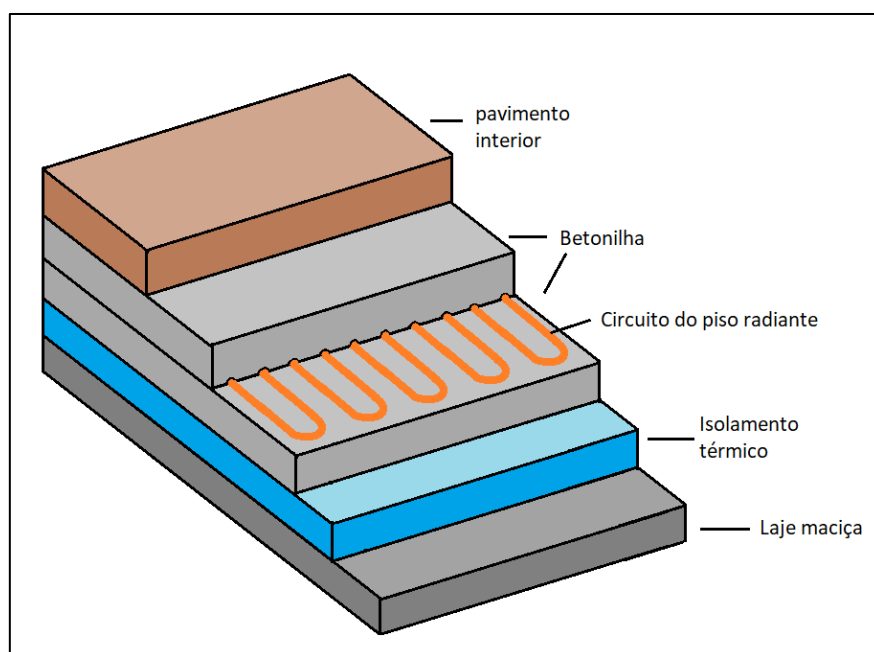


Figura 9 - Constituição de um pavimento com piso radiante incorporado. Fonte: Autoria do autor.

3.3 Necessidades

Para se atingir as condições de habitabilidade num edifício, certos requisitos têm de ser satisfeitos, tal como a temperatura ambiente, o nível de humidade no interior de um edifício, a qualidade do ar e o nível de iluminação. Com o decorrer dos tempos, a qualidade dos edifícios e das características necessárias à habitabilidade e conforto do mesmo têm vindo a melhorar significativamente. Também certas necessidades como o conforto térmico, a confeção e conservação de alimentos, cuidados com a higiene e uso de equipamentos utilitários ou de entretenimento têm se tornado indispensáveis no quotidiano dos habitantes que procuram conforto e comodidade para o seu dia a dia. No entanto, esta qualidade de vida representa um aumentando no consumo de energia por parte do edifício e dos sistemas em si instalados. As necessidades consideradas básicas para a habitabilidade num edifício podem ser classificadas em cinco categorias: Isolamento, Climatização, Ventilação, Águas Quentes Sanitárias e Iluminação. É realizada em seguida uma descrição das diversas categorias.

3.3.1 Isolamento

A aplicação de isolamento nos edifícios é vista como a forma mais eficiente de reduzir trocas de calor com o exterior, reduzindo assim as necessidades de energia para climatização do espaço interior. Todos os elementos que funcionam como fronteira entre

o ambiente exterior e interior como vãos envidraçados, vãos opacos, coberturas e pavimentos podem ser melhorados através da aplicação de materiais isolantes. É apresentada a tabela 5 com os materiais mais utilizados como isolantes térmicos e algumas das suas características.

Tabela 5 - Materiais utilizados como isolantes [5].

Material	Massa volúmica aparente, ρ (kg/m ³)	Condutibilidade térmica, λ (W/m°C)
Lã mineral	20 – 35	0,045
	35 – 100	0,040
	100 – 180	0,042
Lã de vidro	8 – 15	0,045
	15 – 100	0,040
Aglomerado de cortiça expandida	90 – 140	0,045
Aglomerado de cortiça natural com ligantes betuminosos ou sintéticos	100 – 150	0,050
	150 – 250	0,055
Poliestireno expandido moldado	< 11	0,055
	11 – 13	0,045
	13 – 15	0,042
	15 – 20	0,040
	> 20	0,037
Poliestireno expandido extrudido	25 – 40	0,037
Espuma rígida de poliuretano	20 – 50	0,040
	35 – 50	0,042
Espuma de polietileno expandido extrudido	20 - 50	0,050
Espuma elastomérica flexível	60 - 80	0,050

Como visto anteriormente, o isolamento pode ser aplicado de diversas formas aos elementos da envolvente do edifício. No entanto, é necessário diferenciar entre dois casos, um em que o isolamento é instalado durante o processo de produção, como é o caso dos vãos ou dos pavimentos, e outro em que o isolamento pode ser aplicado a qualquer momento, como é o caso do isolamento da envolvente opaca e de coberturas. No momento de renovação de um edifício é necessário ter em conta quais os elementos que podem ser melhorados com a instalação de isolamento, quais aqueles que apenas podem ser substituídos e aqueles cuja melhoria é impraticável.

3.3.2 Climatização

Para um edifício ser considerado habitável, é necessária a climatização do espaço interior. Isto significa regular a temperatura e a humidade relativa do ar para valores admissíveis. Considera-se como temperatura de conforto o valor de 20°C no Inverno e de 25°C no Verão. A humidade relativa deve estar regulada para os 50% durante todo o ano de maneira a proporcionar a sensação de conforto. A climatização em edifícios de habitação é muitas vezes proporcionada por sistemas instalados no edifício ou na periferia do mesmo. Estes sistemas devem ser concebidos de acordo com as necessidades, atendendo às condições climáticas locais, as características do edifício e ao tipo de ocupação. São agora dados alguns exemplos de sistemas destinados à climatização de edifícios.

- Sistemas solares térmicos: estes sistemas utilizam a energia solar para aquecimento ambiente através do aquecimento de um fluido (gás ou líquido). Este fluido é então distribuído pelo edifício através de condutas, radiadores ou pisos radiantes hidráulicos. Esta solução apenas permite o aquecimento do espaço interior;
- Dispositivos para queima de biomassa: dispositivos como lareiras ou salamandras utilizam o calor da combustão de biomassa para o aquecimento duma determinada divisão do edifício. Outros dispositivos como as caldeiras a biomassa permitem o aquecimento central do edifício através de condutas dirigidas a diferentes divisões;
- Bombas de calor: dispositivos alimentados a eletricidade que possuem a capacidade de transferir calor de um ambiente para outro. Devido à natureza reversível do ciclo termodinâmico, é possível proceder ao aquecimento durante a estação fria e ao arrefecimento durante a estação quente;
- Climatização solar passiva: a correta orientação e implementação de vãos envidraçados permite obter ganhos de calor significativos, o que permite aquecer o edifício na estação de aquecimento.

De acordo com o RSECE deve ser evitado o sobredimensionamento dos sistemas de climatização de maneira a salvaguardar a eficiência energética no edifício.

A monitorização e o controlo deste tipo de sistemas permitem de forma rápida e eficaz um conhecimento em tempo real do estado dos equipamentos e dos seus consumos, reduzindo falhas e tempos de reparação, bem como o acesso remoto e o controlo dos sistemas afetos a essa gestão.

3.3.3 Ventilação

Para além de climatizado, o espaço interior também necessita de ser ventilado. A ventilação passa por renovar o ar interior com alguma frequência e isto é importante por vários motivos. Devido à respiração e transpiração dos habitantes, o ar no interior do edifício torna-se “viciado”. A presença de mobília e tecidos proporciona o aparecimento de pó e cotão. Também certos materiais e tintas libertam substâncias voláteis prejudiciais à saúde.

A legislação portuguesa estabelece valores mínimos para o caudal de renovação de ar em diferentes tipos de edifícios. Para o caso de edifícios de habitação, é proposto um caudal mínimo de $30 \text{ m}^3/(\text{h.ocupante})$ em salas de estar e quartos. Outras divisões do edifício como cozinhas ou casas de banho devem de possuir elementos mecânicos de maneira a proceder a uma ventilação mais eficiente. Para estes locais não existe um valor mínimo estipulado.

A ventilação de um edifício pode ser feita de duas maneiras: através de ventilação natural ou de ventilação mecânica.

A ventilação natural acontece quando são abertas janelas ou portas, permitindo a passagem de caudal de ar através do edifício. A presença de chaminés tem também influencia na ventilação natural do edifício.

A ventilação mecânica, tal como o nome indica, é efetuada através da instalação de aparelhos mecanizados. Esta solução permite realizar uma ventilação mais eficiente, muitas das vezes associada a um mecanismo de climatização, permitindo ventilar o espaço e regular a temperatura interior. Este método de ventilação é diferenciado dependendo da sua insuflação e extração. São apresentados os seguintes casos:

- Ventilação mecânica apenas com saída de ar: este tipo de ventilação apenas efetua a extração do ar interior. Um exemplo deste tipo de ventilação são os extratores localizados nas cozinhas e nas casas de banho;
- Ventilação mecânica apenas com entrada de ar: este tipo de ventilação apenas efetua a insuflação de ar novo para o interior do edifício;
- Ventilação mecânica mista (entrada e saída): este tipo de ventilação efetua o ciclo completo de insuflação e extração do ar num edifício. um exemplo deste sistema são as unidades de tratamento de ar (UTA);
- Ventilação mecânica com recuperador de calor: este tipo de ventilação permite a recuperação parcial da energia presente no ar de extração. Isto deve-se à existência de permutadores de calor dentro dos quais os fluxos de insuflação e extração de se cruzam e transferem energia, sem se misturarem um com o outro. Esta solução

possui um funcionamento reversível, aproveitando o calor do ar interior aquecido durante a estação fria e manter o ar interior fresco durante a estação quente. A figura 10 ilustra um modulo de ventilação com recuperador de calor.

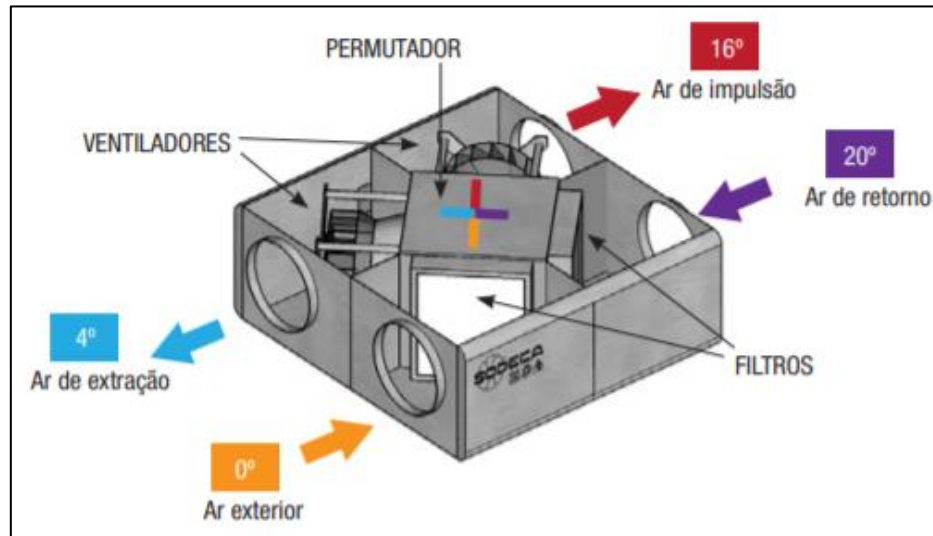


Figura 10 - Modulo de ventilação com recuperador de calor. Fonte: Recuperadores de calor, unidades de filtração e tratamento de ar, Sodeca.

É importante ter em conta que a ventilação de um edifício origina perdas de energia significativas, pelo que o processo deve ser realizado na medida correta e de maneira eficiente.

3.3.4 Águas Quentes Sanitárias

Atualmente, um requisito básico em qualquer edifício é a disponibilidade de água quente para uso doméstico. Esta água é tipicamente utilizada para confecção de alimentos, banhos, limpeza e aquecimento.

Em tempos antigos, o aquecimento da água era feito com base na combustão de biomassa, em que a água era colocada num recipiente cerâmico ou metálico, o qual era colocado sobre a biomassa em combustão. Atualmente são várias as formas de aquecimento de águas quentes de uso doméstico. Enumeram-se agora alguns dos sistemas utilizados para o aquecimento de águas sanitárias:

- Sistemas solares térmicos: trata-se do mesmo sistema utilizado para a climatização de espaços interiores, porém nesta situação o calor captado é transferido obrigatoriamente para um fluido;

- Bombas de calor: tal como as bombas de calor para climatização de espaços interiores, as bombas de calor também são utilizadas para produção de águas quentes sanitárias;
- Caldeiras a biomassa: trata-se dos primeiros dispositivos utilizados para produção de águas quentes. Com os avanços tecnológicos atuais, as caldeiras a biomassa atingem uma eficiência de 90% com reduzidas emissões de poluentes.
- Recuperadores de calor: para além do poder de aquecimento ambiente, os recuperadores de calor permitem a obtenção de águas quentes sanitárias através do aproveitamento do calor produzido pela combustão de biomassa.

Dependendo do sistema e da fonte, a água pode ser aquecida e usada instantaneamente, como no caso dos esquentadores, ou pode ser aquecida e armazenada em depósitos para uma posterior utilização.

Grande parte do aquecimento de águas sanitárias é feito localmente, ou seja, o sistema que fornece energia à água encontra-se nas imediações do edifício. Existem, porém, populações que usufruem de um sistema comum de águas quentes sanitárias. A energia utilizada por este tipo de sistemas provem normalmente de centrais de cogeração, centrais geotérmicas ou centrais solares. Esta prática permite assim aproveitar o excedente de energia não utilizada nas centrais, diminuir as necessidades energéticas com o aquecimento urbano, ajudando assim também a diminuir as emissões de carbono.

3.3.5 Iluminação

A iluminação do espaço interior e exterior de um edifício é um dos requisitos necessários à sua habitabilidade. Esta iluminação pode ser de origem natural, sendo a luz aproveitada diretamente do sol, ou de origem artificial, fornecida por lâmpadas. No projeto de um edifício e do sistema de iluminação, deve ser dada prioridade à luz natural, isto pois a sua utilização permite uma poupança a nível energético para com os gastos relacionados com a iluminação do edifício. Isto é possível tendo em conta a orientação do edifício em relação ao percurso do sol. Esta luz pode ser aproveitada através de janelas, portas de vidro ou claraboias e iluminar o interior do edifício durante o dia. Na ausência de luz natural, a iluminação é então feita com recurso a lâmpadas de luz artificial, com preferência nas lâmpadas de baixo consumo. Nos dias que correm já se encontra no mercado lâmpadas para as mais diversas finalidades, com diferentes tonalidades e consumos energéticos bastante eficientes, sendo as lâmpadas LED aquelas que se destacam a nível de eficiência, mas também de duração do tempo de vida do produto. Tipicamente a iluminação de um edifício é alimentada a partir da rede elétrica, mas

também é possível ser alimentada por uma fonte renovável local. Exemplo disto é um sistema de iluminação alimentada por um sistema solar ou sistema eólico.

Capítulo 4 – Energia

4.1 Introdução

A energia é vista como o motor da sociedade. Esta é utilizada nos processos de construção e de destruição. Também a mobilidade tornou-se mais eficiente devido ao uso de energia. No entanto a utilização de energia acarreta sempre algum tipo de custo. Em primeiro lugar está a fonte de energia. Toda a energia utilizada pela humanidade advém da Natureza, apresentada em diversas formas. É justo afirmar que todas as fontes de energia possuem um limite relativo à sua exploração. Isto faz com que seja necessário tomar medidas de racionalização respetivamente ao uso de certas fontes de energia.

Outra questão está no facto de serem poucos os casos em que se pode utilizar diretamente essa energia para qualquer finalidade. De maneira a retirar o verdadeiro partido da energia na Natureza, é necessária a aplicação de processos de conversão, sejam eles mecânicos ou químicos. Muitos destes processos de conversão dão origem a produtos considerados nocivos para o meio ambiente. Isto dá origem a um segundo custo relacionado com a utilização de energia. Atualmente vive-se uma crise originada pelo uso excessivo de um determinado tipo de energia: os combustíveis fósseis. Estes combustíveis possuem a particularidade de quando sujeitos ao processo de combustão, libertam para a atmosfera compostos químicos altamente poluentes. Esta crise está a levar a uma mudança nos hábitos de consumo de energia a nível mundial, tal como a exploração de alternativas com menor impacto a nível ambiental.

4.2 Energia nos Edifícios

A energia é utilizada de maneira a proporcionar abrigo, conforto e comodidade aos habitantes de um edifício. Na perspetiva da vida útil de um edifício, a energia é utilizada no início de vida para a construção. Uma vez contruído o edifício, a energia passa então a ser utilizada pelos sistemas existentes no edifício. Estes sistemas providenciam serviços como o conforto térmico, ventilação, iluminação, conservação e confeção de alimentos, AQS e entretenimento. No fim de vida do edifício, a desconstrução do mesmo também acarreta custos energéticos.

A quantidade de energia utilizada num edifício está relacionada com o clima local, o tipo de sistemas instalados e com o estilo de vida dos seus ocupantes. Em 2005 registou-se um consumo de cerca de 5,8Mtep por parte dos edifícios em território português, sendo este valor 30% do consumo de energia primária do país e 62% do consumo de energia

elétrica. O domínio dos edifícios de habitação, com cerca de 3,3 milhões de edifícios, contribuiu com 17% dos consumos de energia primaria e 29% do consumo de energia elétrica, isto relativo a 2005 em Portugal. Estes valores representam um consumo pouco eficiente por parte dos edifícios de habitação, sendo essa ineficiência resultado da baixa eficiência energética dos equipamentos consumidores de eletricidade existentes nos edifícios, mas também dos hábitos dos seus habitantes [2].

A energia consumida por edifício pode ser dividida em três categorias: Energia utilizada em cozinhas e AQS, energia utilizada para a climatização do espaço interior e energia utilizada para a iluminação e alimentação de eletrodomésticos e outros equipamentos consumidores de energia. Na figura 11 está representada a distribuição da energia consumida por estas três categorias, sendo os valores cerca de 50% da energia utilizada em cozinhas e AQS, 25% será utilizada em climatização e os restantes 25% terá como finalidade a iluminação e a alimentação de equipamento eletrodoméstico.

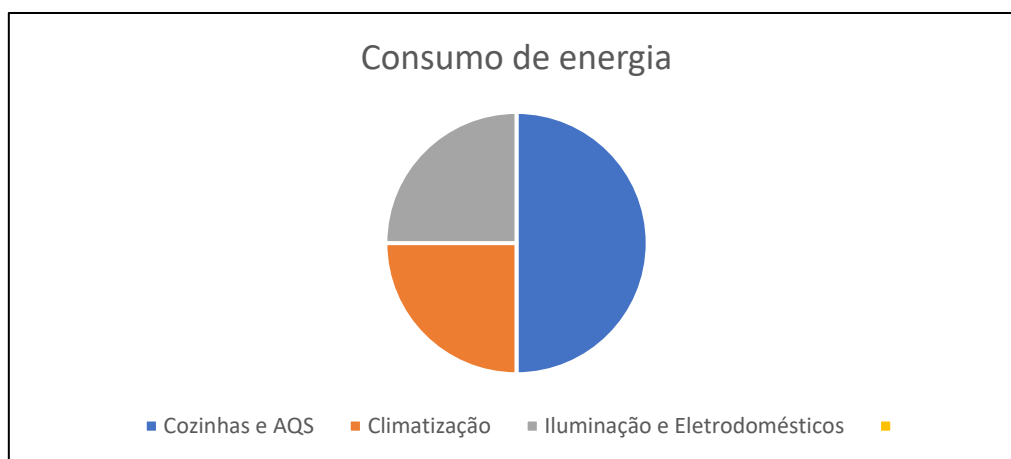


Figura 11 – Distribuição da energia consumida num edifício de habitação. Fonte: Eficiência energética nos edifícios residenciais, EnerBuilding.eu

4.3 Fontes de Energia

Grande parte da energia disponível à superfície terrestre advém de uma fonte comum, o Sol. Esta energia chega ao planeta sobre a forma de radiação e é absorvida pelos elementos presentes, sejam eles seres vivos ou objetos. A energia solar é a principal fonte de energia e permite o equilíbrio bioclimático do planeta. Em relação ao seu aproveitamento, este pode ser realizado de duas formas: direto e indireto. A tabela 6 ilustra cada um dos possíveis aproveitamentos energéticos derivados do sol.

Tabela 6 - Formas diretas e indiretas de aproveitamento da energia solar

Direta	Passiva	Aquecimento e ventilação	
	Ativa	Produção de AQS e eletricidade	
Indireta	Curto prazo	Eólica	Ventilação e eletricidade
		Hídrica	Produção de eletricidade
	Médio prazo	Biomassa	Aquecimento e produção de AQS
		Biocombustível	Aquecimento, produção de AQS e eletricidade

Aproveitamento solar direto: Faz uso da energia direta do sol, podendo ser dividido em aproveitamento passivo ou ativo. É considerado como aproveitamento solar passivo o ganho energético resultante da captação e utilização da energia solar sem necessidade de conversão mecânica. Um exemplo comum será a captação solar através de envidraçados, mas existem outros sistemas que também utilizam os ganhos solares passivos como é o caso da parede de Trombe ou as chaminés solares, ilustradas nas figuras 12 e 13 respectivamente. Resumidamente, a parede de Trombe é utilizada como armazenamento de calor devido à grande inércia térmica do material constituinte da parede. Já a chaminé solar é utilizada como mecanismo de ventilação passiva, utilizando o calor da radiação solar como motor para o ciclo convectivo do ar.

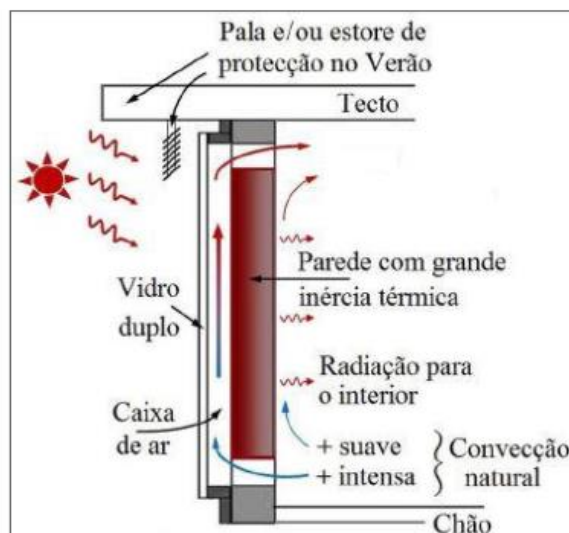


Figura 12 - Parede de Trombe. Fonte: Transferência de calor eficiência energética, João José Lopes de Carvalho.

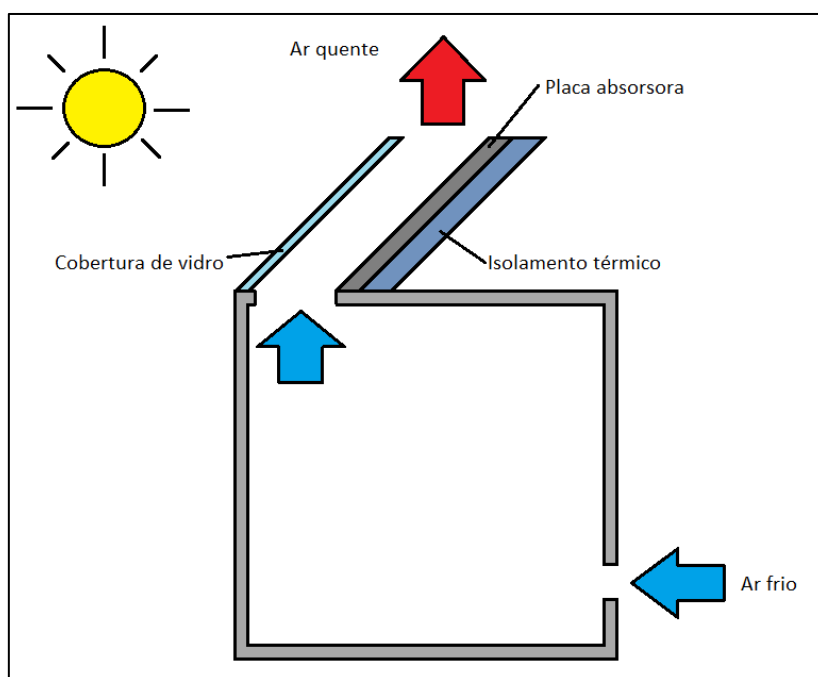


Figura 13 - Chaminé solar. Fonte: Autoria do autor.

Em relação ao aproveitamento solar ativo, a radiação solar é sujeita a processos de conversão, podendo o produto dessa conversão ser calor ou eletricidade. Exemplos de sistemas solares ativos são os sistemas solares térmicos que convertem a radiação em calor e o transferem para um fluido, e os sistemas solares fotovoltaicos que convertem a radiação em eletricidade. Toda a tecnologia que utiliza este tipo de fonte vê-se dependente do horário solar para poder gerar energia, sendo que qualquer momento de ausência de luz, seja por ser noite ou apenas obstrução à passagem da luz, implica um tempo de inatividade na produção energética.

Fonte solar indireta: utiliza a energia de fontes secundárias, fontes estas que são influenciadas pela energia solar. Existem diversas fontes de energia que derivam da interação da energia solar com os elementos presentes no planeta. Estas podem ser divididas em três tipos: aproveitamento de curto prazo, aproveitamento de médio prazo e aproveitamento a longo prazo.

Considera-se como aproveitamento a curto prazo as formas de energia criadas pela ação da energia solar num curto espaço de tempo, tal como a energia eólica (ação da energia sobre a atmosfera) e energia hídrica (ação da energia sobre a água).

Já o aproveitamento a médio prazo possui uma escala de tempo maior. Como exemplo de aproveitamento de energia solar a médio prazo considera-se a biomassa e os biocombustíveis. As plantas captam a energia do sol como fonte direta, convertendo-a em

energia química essencial ao seu crescimento, através do processo de fotossíntese. Esta energia armazenada na planta é então extraída através do processo de combustão, sendo então aproveitada sobre a forma de calor. O tempo de crescimento da planta até à dimensão necessária faz com que esta seja um aproveitamento a médio prazo.

Existem ainda o aproveitamento de longo prazo, como é o caso dos combustíveis fósseis. Porém, este tipo de aproveitamento não será abordado neste trabalho devido às consequências ambientais resultado da sua utilização.

Para além do aproveitamento de energia de fonte solar, existe também o aproveitamento de energia de origem no interior do planeta, denominada por energia geotérmica. Este tipo de energia é bastante aproveitado em locais com elevada atividade vulcânica, mas com a aplicação de alguma tecnologia pode ser utilizado em diversos locais.

4.3.1 Energia Solar

O sol pode ser considerado a maior fonte de energia do planeta Terra, mesmo estando localizado entre 147 até 152 milhões de quilómetros de distância, dependendo da altura do ano. A interação entre a radiação solar e os elementos na Terra deve ser estudada de maneira a melhorar a eficiência dos sistemas que utilizam o Sol como fonte de energia. A energia solar atinge o globo terrestre sobre a forma de radiação. Esta radiação pode ser denominada por Irradiancia e define o fluxo radiante que atinge uma unidade de área (W/m^2). A irradiância média na Terra ao meio dia e em boas condições climáticas, independentemente do local possui um valor de $1 \text{ kW}/m^2$, sendo este um valor normalizado. No entanto, é necessário ter em conta que devido à presença da atmosfera, apenas parte dessa energia atinge a superfície terrestre. O valor de irradiância que atinge a atmosfera terrestre é sempre constante, já a irradiância que atinge a superfície terrestre é fortemente afetada por efeitos atmosféricos (absorção por gases), variações locais (vapor de água, nuvens, poluição) e características locais (latitude, estação do ano, hora do dia). A figura 14 ilustra as várias interações que a radiação tem com os vários elementos terrestres e qual a percentagem de energia que é transferida para cada elemento.

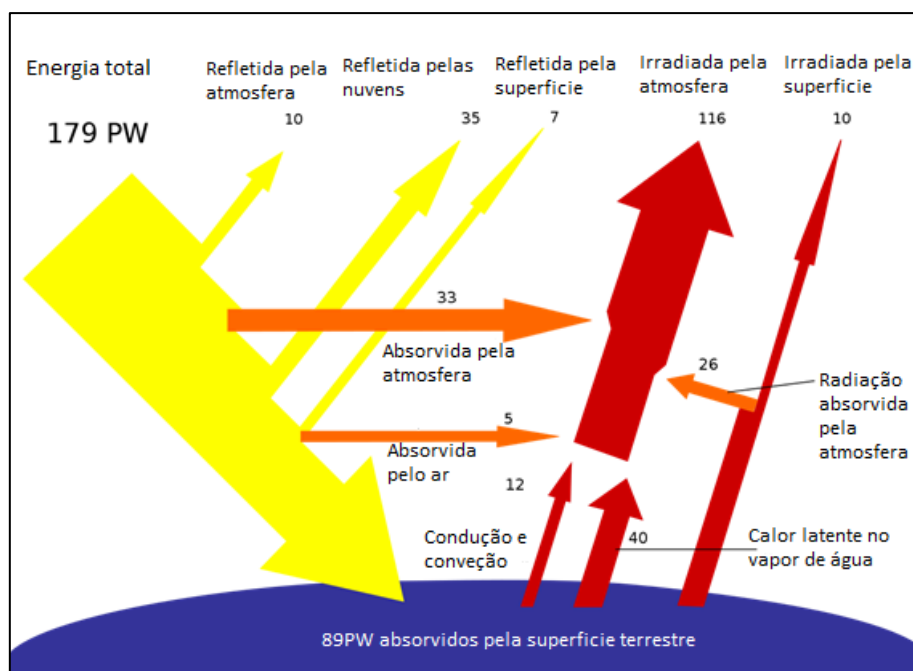


Figura 14 - Comportamento da radiação solar à face da Terra. Fonte: Adaptado a partir do original de Frank van Mierlo.

A irradiância é também influenciada pela massa de ar atmosférico que tem de atravessar até atingir a superfície terrestre ou outro qualquer elemento, sendo que o aumento da massa de ar traduz-se numa diminuição de energia captada.

O rácio de massa de ar (AM0, AM1, AM1,5) trata-se da razão entre o comprimento do caminho percorrido pelos raios solares na atmosfera até atingir um determinado local, e o que seria percorrido se o Sol estivesse diretamente na vertical. Em relação aos três possíveis valores para o rácio de massa de ar, AM0 corresponde à captação solar fora da atmosfera, AM1 corresponde à captação solar diretamente na vertical e AM1,5 corresponde à captação solar típica à superfície terrestre, com o Sol a possuir uma inclinação na direção dos polos (Norte ou Sul). A figura 15 demonstra as relações trigonométricas que definem o rácio de massa de ar.

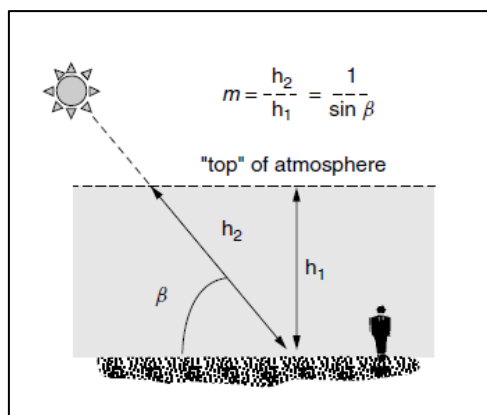


Figura 15 - Determinação da massa de ar. Fonte: Masters, G.M (2004)

O nível de radiação que chega ao planeta é também influenciado pela inclinação do eixo terrestre em relação ao plano de rotação em torno do Sol. Esta inclinação possui um valor aproximado de $23,45^\circ$ e é responsável pelas diferentes estações do ano. A figura 16 ilustra o percurso do planeta Terra ao redor do Sol e a influência da inclinação do eixo de rotação na transição das estações do ano.

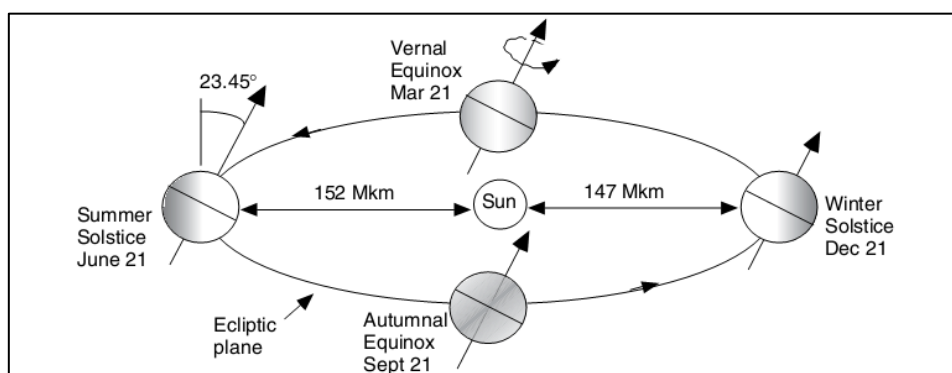


Figura 16 - Percurso da Terra ao longo do ano. Fonte: Gilbert M. Masters (2004)

Esta inclinação tem influência no trajeto realizado pelo Sol. Durante a estação fria o trajeto solar realiza-se a menor altitude, o que implica uma maior massa de ar a ser atravessada pela radiação solar. Durante esta estação o horário solar também é menor, durando entre 9 e 11 horas. Durante a estação quente o trajeto solar realiza-se a uma maior altitude, sendo menor a massa de ar que a radiação tem de atravessar. O horário solar durante esta estação é mais alargado, durando entre 12 e 15 horas. Outro aspeto que é alterado durante as estações do ano é o local onde o Sol nasce e onde se põe. Com o aumento do horário solar, o Sol inicia o seu percurso mais próximo do ponto Norte no caso do hemisfério Norte, ou Sul no caso do hemisfério Sul. A imagem 17 ilustra o trajeto solar referente ao hemisfério Norte.

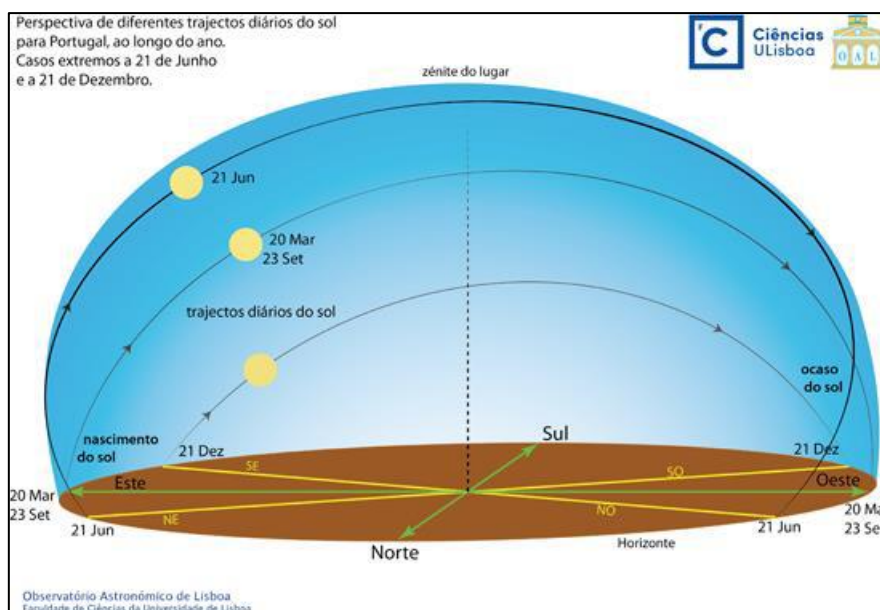


Figura 17 - Movimento aparente do sol no hemisfério norte do globo. Fonte: Observatório Astronómico de Lisboa

Quando se trata de captação da radiação solar, é do maior interesse dimensionar sistemas que possuam o melhor ângulo de captação para determinada altura do ano. Para isso é necessário prever exatamente qual o percurso do sol durante o ano. A figura 18 demonstra o percurso do Sol em torno do planeta Terra, assumindo que a Terra está fixa num ponto e é o Sol que executa a oscilação de posição.

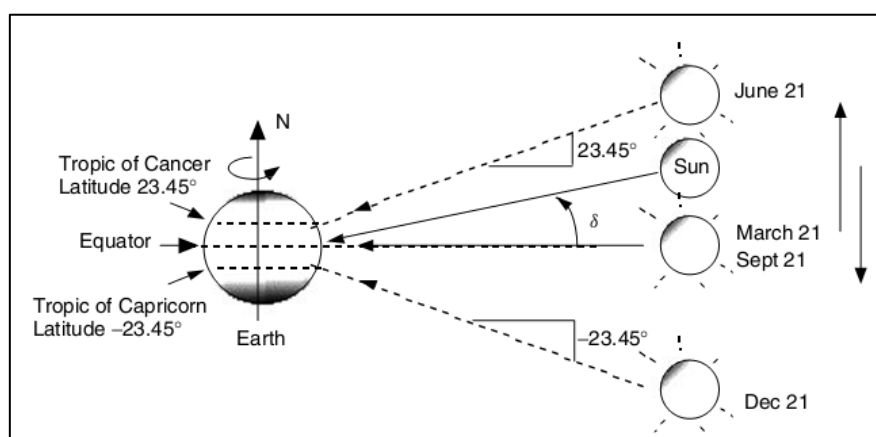


Figura 18 - Variação da declinação solar ao longo do ano. Fonte: Gilbert M. Masters (2004)

Determina-se como ângulo de declinação solar (δ) o ângulo formado pela linha que une o centro do Sol ao centro da Terra e o plano do equador. Este ângulo pode variar entre $\pm 23,45^\circ$, valor máximo da inclinação do eixo terrestre. A seguinte equação permite determinar o ângulo de declinação solar num determinado dia do ano ao meio dia solar.

$$\delta = 23,45^\circ \times \text{sen} \left[\frac{360^\circ}{365} (n - 81) \right] \quad (1)$$

Na equação anterior, n corresponde ao dia do ano a determinar, podendo assumir valores entre 1 e 365. A tabela 7 ilustra o valor de declinação solar para o vigésimo primeiro dia de cada mês do ano.

Tabela 7 - Declinação solar para o 21º dia de cada mês

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
δ	-20,1	-11,2	0,0	11,6	20,1	23,4	20,4	11,8	0,0	-11,8	-20,4	-23,4

A figura 19 ilustra um coletor solar colocado sobre a superfície terrestre e posicionado com uma inclinação igual ao valor da latitude local (L). Ao inclinar um coletor com o valor da latitude do local de implementação, este passa a estar posicionado paralelamente ao eixo terrestre. É durante o equinócio que a radiação solar irá atingir perpendicularmente o coletor. Esta pode ser considerada uma boa configuração para o ângulo de inclinação pois permite captar a radiação solar durante todo o ano.

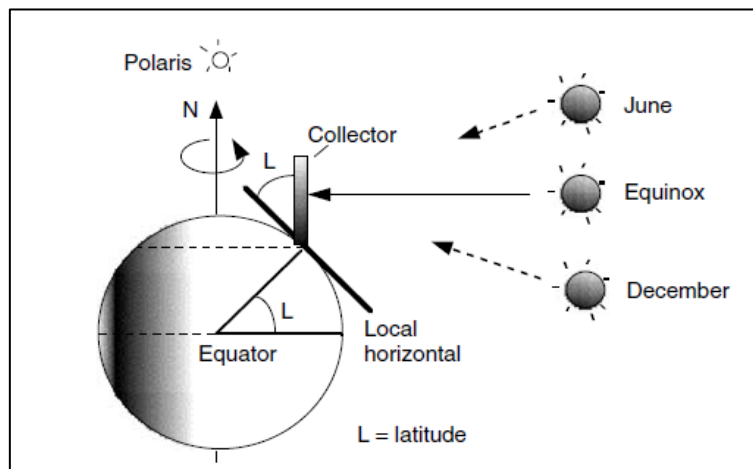


Figura 19 - Coletor solar orientado a sul e inclinado no valor da latitude. Fonte: Gilbert M. Masters (2004)

No entanto, pode ser do interesse do projetista dimensionar um sistema que possua diferentes níveis da captação ao longo do ano. Os sistemas solares térmicos servem de exemplo, pois devem de ser dimensionados para possuírem uma captação solar maximizada durante a estação fria onde a radiação é mais fraca e reduzir alguns dos ganhos durante a estação quente a fim de evitar o sobreaquecimento do sistema.

Para o cálculo da inclinação em qualquer momento do ano, é introduzida uma nova variável, o ângulo de altura solar (β_N) e pode ser definido como o ângulo medido entre o

Sol e a superfície horizontal terrestre ao meio-dia solar. A figura 20 ilustra o ângulo de altura solar no plano terrestre e também no modelo Terra-Sol apresentado nas figuras anteriores. Um outro parâmetro introduzido na figura trata-se do zénite (z), podendo ser descrito como um eixo imaginário direcionado na direção vertical num determinado local.

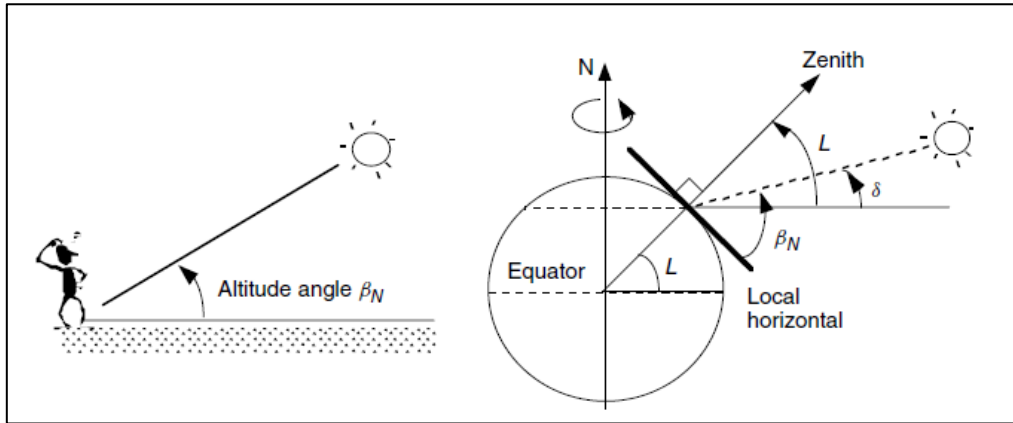


Figura 20 - Ângulo de altura solar ao meio-dia solar. Fonte: Gilbert M. Masters (2004)

Desta figura é possível estabelecer a seguinte relação entre o ângulo de altura solar (β_N), a latitude (L) e a declinação solar (δ):

$$\beta_N = 90^\circ - L + \delta \quad (2)$$

A posição do Sol a qualquer momento do dia pode ser descrita com base no ângulo de altura solar (β) e o ângulo de azimute (ϕ_s). O ângulo de azimute pode ser descrito como o ângulo no plano terrestre entre a posição do Sol e a direção Sul. Por convenção considera-se este ângulo positivo antes do meio-dia solar e negativo após o meio-dia solar. Ao meio-dia, o ângulo de azimute toma valor nulo. A figura 21 representa o percurso diário do Sol e os respectivos ângulos de altura solar e de azimute.

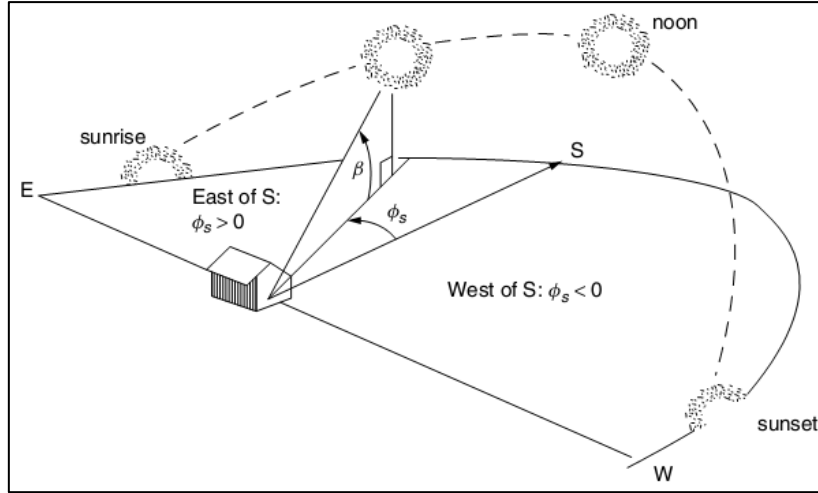


Figura 21 – Altura e azimute solar. Fonte: Gilbert M. Masters (2004)

A determinação destes valores pode ser feita através de relações trigonométricas, como demonstrado nas seguintes equações.

$$\sin(\beta) = \cos(L) \cos(\delta) \cos(H) + \sin(L) \sin(\delta) \quad (3)$$

$$\sin(\phi_s) = \frac{\cos(\delta) \sin(H)}{\cos(\beta)} \quad (4)$$

Todos os parâmetros presentes nestas equações foram já abordados à exceção do ângulo horário (H). Este parâmetro caracteriza o número de graus que o planeta necessita de rodar até coincidir com o meridiano local. Considerando que o planeta efetua a rotação de 360° em 24 horas ou $15^\circ/\text{horas}$, o ângulo horário pode ser calculado da seguinte forma:

$$H = \left(\frac{15^\circ}{\text{horas}} \right) \times (\text{n}^\circ \text{ de horas até ao meio dia}) \quad (5)$$

Assim sendo, o valor de H às 11.00 da manhã seria de $+15^\circ$, o que significa que o planeta teria de rodar 15° para atingir o meio-dia solar. Após o meio-dia, o valor de H toma valores negativos. Por exemplo, às 14:00 horas o valor de H assume o valor de -30° . No entanto, é necessário ter em conta que durante a estação quente o ângulo de azimute (ϕ_s) pode ultrapassar os 90° . Uma vez que este ângulo é determinado através da função seno e sendo o inverso desta função ambíguo, $\sin x = \sin (180 - x)$, é necessário

determinar se o valor de azimute é ou não maior do que 90° . Para tal é realizado o seguinte teste:

$$\text{Se } \cos(H) \geq \frac{\tan(\delta)}{\tan(L)}, \quad \text{então } |\phi_s| \leq 90^\circ; \quad \text{caso contrario } |\phi_s| > 90^\circ$$

Desta maneira é possível prever o percurso do Sol e dimensionar os sistemas de captação de maneira a realizarem a captação solar com a melhor eficiência possível. O sucesso destes sistemas está restringido ao tipo de tecnologia aplicado, mas também à forma como estes são colocados perante a fonte de energia. Como mencionado anteriormente, cada sistema é dimensionado de maneira a captar energia para um determinado fim. Isso pode implicar que seja dada ênfase à captação num determinado período do ano, o que implica uma orientação totalmente diferente um sistema que queira maximizar a captação anual.

4.3.2 Energia Eólica

A energia eólica ou energia do vento trata-se de um tipo de aproveitamento indireto da energia solar. A interação da radiação solar na atmosfera provoca um fenómeno de aquecimento nas massas de ar. A diferença de temperatura entre massas de ar provoca a sua movimentação, surgindo o fenómeno descrito como vento. Este tipo de energia possui diversas utilidades para o ser humano. Em tempos passados, foi a energia do vento que permitiu a exploração de novos territórios por via marítima através de barcos capazes de captar os ventos nas suas velas em tecido. Com algum estudo e engenho, a energia do vento foi também utilizada para criar movimento mecânico com a introdução dos moinhos de vento. Estes aparelhos utilizavam a força do vento para movimentar elementos mecânicos como eixos, roldanas e engrenagens com o propósito de executar algum tipo de tarefa, maioritariamente moagem de grão ou elevação de água. Atualmente este conceito é utilizado para a produção de energia elétrica através de geradores eólicos. Uma outra utilização da energia do vento já mencionada anteriormente é a ventilação natural de espaços interiores em edifícios. A passagem do fluxo de ar através do edifício permite renovar o ar interior e expulsar o ar “viciado”. Este tipo de ventilação é estimulado pelo número de aberturas existentes, a existência de fluxos de ar exteriores e a orientação das aberturas em relação ao fluxo de ar. A irregularidade da direção dos ventos em certos locais pode dificultar o dimensionamento de edifícios que promovam o uso da ventilação natural. Com isto é possível dividir os tipos de utilização da energia eólica em três categorias: transporte, conversão mecânica e ventilação. Na temática da

energia nos edifícios, apenas é possível fazer uso da energia para a conversão mecânica e ventilação natural.

Tal como a captação solar, é necessário estudar qual a forma mais eficiente de captar a energia presente no vento. Para tal importa conhecer vários parâmetros relacionados com o escoamento de ar, entre eles a velocidade, a direção e o regime do escoamento.

- **Velocidade:** permite determinar a quantidade de energia presente num fluxo de ar. No dimensionamento de sistemas para geração de energia, é através da velocidade que se analisa a potência gerada pelo escoamento de ar.
- **Direção:** como mencionado anteriormente, a direção do escoamento deve ser estudada quando se dimensionam sistemas estacionários. A direção do escoamento pode ser influenciada pela presença de elementos no seu percurso.
- **Regime do escoamento:** o regime do escoamento determina o nível de turbulência presente no fluxo de ar. Certos sistemas como os geradores eólicos são sensíveis à turbulência presente no ar, tendo como consequência a diminuição na produção de energia. Tal como a direção do escoamento, o regime é também influenciado pela presença de elementos no trajeto do vento.

O tema da velocidade e de regime do escoamento serão estudados com mais detalhe, juntamente com a tecnologia de captação e geração de energia no capítulo de Instalações para aproveitamento energético.

4.3.3 Biomassa

Considera-se como biomassa a matéria orgânica derivada da vida vegetal e animal. A biomassa contém energia armazenada com origem no sol, sendo esta energia captada diretamente pela matéria vegetal, ou transferida através da cadeia alimentar. A grande parte da biomassa disponível encontra-se sobre a forma de matéria orgânica vegetal que cresce em selvas e florestas espalhadas por todo o planeta. As plantas absorvem a energia diretamente do sol, num processo denominado de fotossíntese. Neste processo, as plantas convertem a energia do sol em energia química, que origina a glucose e que fornece parte dos nutrientes necessários ao crescimento da vida vegetal. Quando esta matéria é utilizada como combustível, a energia química presente é então libertada sobre a forma de calor, sendo este calor aproveitado para os mais diversos fins. A combustão de biomassa terá sido uma das primeiras formas de conversão e aproveitamento de energia utilizada pela humanidade, sendo utilizada para confeção de alimentos e aquecimento. Atualmente a utilização desta energia para preparação alimentar tem vindo a cair em desuso, sendo

substituída por energias mais limpas e fáceis de controlar. Entretanto continua a proceder-se à sua utilização para aquecimento de espaços interiores ou de águas sanitárias. A constante utilização desta fonte de energia levou ao desenvolvimento de processos e equipamento que permitem obter um melhor desempenho do processo de combustão. Ainda assim, em muitos casos ainda são utilizados métodos e tecnologias consideradas arcaicas e com baixa eficiência energética.

A madeira é a forma mais utilizada de biomassa, podendo ser retirada da natureza e utilizada sem qualquer tipo de processamento. De maneira a facilitar o seu transporte e conferir uma combustão homogénea, esta madeira é sujeita a processos de corte, atribuindo-lhe as dimensões mais favoráveis. Diferentes espécies de árvores produzem madeira com distintas características. Para efeitos de combustão importa ter em conta o poder calorífico de cada espécie e o teor de humidade presente na madeira. Na tabela 8 são apresentados os valores de poder calorífico (inferior e superior) e o teor de humidade de diversas espécies de árvores presentes em território português. O poder calorífico inferior (PCI) representa a energia libertada sobre a forma de calor durante o processo de combustão. O poder calorífico superior (PCS) representa a soma da energia libertada sobre a forma de calor com a energia necessária para a vaporização da água que se forma na reação de oxidação.

Tabela 8 - Características de diferentes tipos de madeira

Espécie	Teor de humidade (%)	Poder calorífico inferior (kcal/kg)	Poder calorífico superior (kcal/kg)
Videira	6,10	6848	6885
Poda de kiwi	7,48	6921	6966
Sobreiro	3,85	6943	6966
Pinho	7,53	7569	7614
Acácia	1,75	7928	7938
Azinho	4,11	6779	6804

Além da madeira em estado natural, existem ainda formas de biomassa processada como é o caso dos *pellets* e briquetes. Estes biocombustíveis têm origem no aproveitamento de materiais com baixo valor comercial como o caso de folhas, serradura e lascas de madeira. A diferença entre *pellets* e briquetes está na sua dimensão. Os *pellets* são produzidos em pequenas dimensões, tipicamente com 6 mm de diâmetro e 25 mm de comprimento. Esta pequena dimensão facilita a fluidez do material em aglomerados, permitindo a automatização e controlo do processo de combustão. Os briquetes possuem maiores dimensões, cerca de 50 mm de diâmetro e mais de 100 mm de comprimento, assemelhando-se a troncos de madeira, permitindo ser utilizada em dispositivos de

combustão de madeira sem necessidade de alterações estruturais. Em ambos os casos, o calor específico superior destes biocombustíveis pode chegar aos 4047 kcal/kg [6].

A eficiência relativa ao uso da biomassa como combustível está mais associada aos mecanismos de combustão do que propriamente à biomassa em si. Porém, uma prática que permite obter uma combustão mais eficiente é evitar que a biomassa contenha excesso de humidade no seu interior. Como foi relatado na descrição do poder calorífico superior, existe uma parcela de energia que é gasta para evaporar a humidade no interior da biomassa. A diminuição da humidade no interior da biomassa leva à diminuição dessa parcela, resultando num maior poder calorífico obtido. Esta é a razão pela qual o poder calorífico inferior (combustão sem humidade) é sempre superior ao poder calorífico superior (combustão com humidade).

Apesar da biomassa, em particular a de origem vegetal, poder ser considerada como energia renovável, este facto depende da taxa de reposição da mesma na natureza, ou seja, toda a biomassa retirada da natureza necessita de ser reposta de maneira a tornar sustentável a sua utilização. O mesmo acontece com as emissões de carbono derivadas da queima da biomassa. O carbono libertado na combustão equivale ao carbono que a planta captou durante o processo de crescimento. Como tal, é possível controlar os níveis de emissões de carbono derivados da queima de biomassa, bastando repor aquilo que foi utilizado.

4.3.4 Biocombustível

O biocombustível trata-se de um tipo de combustível com origem na biomassa. Através da aplicação de certos processos é possível converter a biomassa para uma outra forma física mais conveniente para uso, dando origem a um combustível disponível no estado líquido. Desta maneira é possível a aplicação direta em certos motores de combustão ou outras aplicações. O transporte torna-se também mais fácil, podendo ser transportado em depósitos ou por oleodutos. O biocombustível surge como alternativa a alguns combustíveis, podendo ser utilizado para aquecimento ambiente, produção de águas quentes sanitárias ou produção elétrica. Tal como a biomassa, o biocombustível requer um processo de combustão de maneira a libertar a sua energia armazenada. Em relação à sua produção, o biocombustível é diferenciado de acordo com o tipo de processo ao qual é submetido, existindo quatro tipos de geração:

1ª Geração: é o tipo de biocombustível mais convencional e utiliza plantações energéticas exclusivamente destinadas a este fim. O processo de obtenção deste combustível é a fermentação e a transesterificação. Este combustível pode ser adicionado

ao diesel mineral e aplicado em motores a diesel, desde que seja adicionada uma porção até 7% em relação ao combustível mineral.

2ª Geração: combustível produzido através de diferentes tipos de biomassa, seja ela biomassa lignocelulósica, resíduos florestais ou de agriculturas. Este combustível tem a vantagem de ser quimicamente semelhante ao diesel mineral, podendo ser assim aplicado nos motores a diesel convencionais sem limitações.

3ª Geração: combustível produzido com base em algas. Este tipo de geração ainda encontra-se em estado de desenvolvimento, mas já é apresentado como um substituto aos combustíveis para veículos. Para além de ser uma matéria-prima rica em óleos, o seu crescimento não necessita de campo de cultivo, podendo ser introduzida em bacias de tratamento de águas residuais.

4ª Geração: semelhante ao combustível de 3ª geração, este não necessita de campos de plantação. Difere no facto de não requerer a destruição de biomassa. Nesta categoria estão incluídos o *Electrofuel* e o *Photobiological Solar Fuel*.

- *Electrofuel*: Armazenamento de energia elétrica sob a forma de ligações químicas em combustíveis líquidos ou gasosos.
- *Photobiological Solar Fuel*: Transdução de energia solar em energia química, reduzindo prótons em hidrogénio ou dióxido de carbono em compostos orgânicos.

Dos vários tipos de biocombustíveis produzindo, os mais utilizados são o biodiesel e o bioetanol.

- Biodiesel: Produzido de óleos e gorduras através do processo de transesterificação (1ª geração), é um líquido similar ao diesel mineral. Tem como base gordura animal, óleos vegetais ou plantações energéticas. Pode ser utilizado em motores a diesel, apesar de ser recomendada a sua adição com diesel normal, a fim de evitar alguns problemas a nível de funcionamento do motor.

- Bioetanol: produzido através da fermentação de plantações de trigo, milho ou cana-de-açúcar. É um dos biocombustíveis mais comuns a nível mundial e pode ser aplicado em motores a gasolina, apesar de ter uma densidade energética mais baixa, o que significa que é necessário mais combustível para produzir a mesma quantidade de trabalho. Também pode ser utilizado para aquecimento de espaços interiores através de lareiras a bioetanol.

Uma questão que se prende com a produção deste tipo de combustíveis trata-se da vasta área de plantação necessária para a produção de biomassa. Esta prática utiliza assim

campos que poderiam ser utilizados para a plantação de alimentos. Também o impacto ambiental deve ser levado em conta, pois a exploração agrícola em grande escala tem consequências na qualidade do solo e da água.

4.3.5 Energia Geotérmica

A energia geotérmica refere-se à energia armazenada no interior do planeta proveniente da atividade vulcânica do núcleo terrestre. Esta energia já é utilizada desde tempos do Paleolítico, em que civilizações utilizavam as águas quentes para banhos termais. Atualmente alguma desta energia é utilizada para geração de eletricidade, sendo que o conjunto de todas as centrais geotérmicas a nível mundial possuem uma potência instalada de 11700MW. Outra aplicação deste tipo de energia é o aquecimento de espaços interiores em edifícios, tal como a distribuição de águas quentes sanitárias. Países como a Islândia utilizam energia geotérmica para climatizar cerca de 92.5% dos edifícios de habitação, sendo isto possível devido à elevada atividade vulcânica do país. Também é possível utilizar esta energia em pequena escala, fornecendo energia para apenas um edifício. A energia geotérmica pode ser utilizada de três formas: utilização direta, em centrais geotérmicas ou por bombas de calor.

- Utilização direta: o calor existente em reservatórios geotérmicos com temperaturas moderadas (20°C até 150°C) pode ser aproveitado para aquecimento de edifícios, utilizado pela indústria ou mesmo em termas.
- Centrais geotérmicas: utilizam as temperaturas elevadas de fluidos geotérmicos (>150°C) para a produção de energia através de turbinas a vapor.
- Bombas de calor: utilizam as diferenças de temperatura entre o solo e o ambiente para fornecer ou retirar energia. Ao contrário dos casos anteriores, esta solução permite a utilização da energia geotérmica sem necessidade reservatórios geotérmicos, utilizando apenas a temperatura “quase” constante do subsolo.

Neste trabalho é dada mais atenção à energia geotérmica obtida através da utilização de bombas de calor, pois representa um sistema de energias renováveis possível de ser instalado localmente.

4.3.6 Energia Hídrica

A energia hídrica refere-se ao aproveitamento da energia proveniente do ciclo hidrológico. Trata-se de um aproveitamento indireto a curto prazo da energia solar, uma

vez que é esta energia que potencia o ciclo hidrológico. A captação de energia é feita em determinados estágios do ciclo, como por exemplo em escoamentos superficiais correntes (caudais de rios) ou por descargas controladas em locais de armazenamento (albufeiras).

Desde tempos antigos que é feito o aproveitamento deste tipo de fontes. Na antiguidade os cursos de água eram utilizados para movimentar azenhas e moinhos de água com o intuito de moer grãos, irrigar campos ou drenar terras alagadas. Recentemente estes mecanismos foram adaptados para produzir eletricidade, sendo que atualmente o aproveitamento hídrico centra-se na sua maioria na produção elétrica.

Grande parte da energia elétrica produzida por fontes renováveis advém deste tipo de fontes. Grandes barragens convertem a energia potencial de água armazenada em energia elétrica através de turbinas. Esta eletricidade é então introduzida na rede elétrica, ficando disponível para utilização. Esta é a situação mais comum para este tipo de energia, porém existem outros tipos de instalações que aproveitam o poder da água: centrais mini-hídricas. Uma central mini-hídrica caracteriza-se por possuir uma potência instalada até 10MW. Tipicamente este tipo de central possui turbinas do tipo *Pelton* ou *Cross-flow*, sendo turbinas que funcionam com grandes alturas de queda de água e caudais volúmicos reduzidos. A figura 22 ilustra o esquema de ambas a turbinas, *Pelton* e *Cross-flow*, respetivamente.

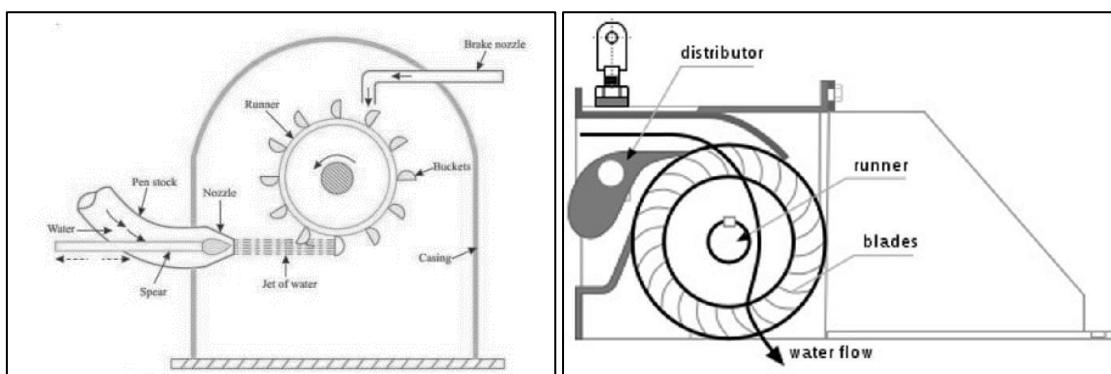


Figura 22 - Turbina Pelton (esquerda) e turbina Cross-flow (direita). Fonte: theconstructor.org, wikipedia.org

Este tipo de central é utilizado para fornecer energia a edifícios ou comunidades que se encontrem em zonas isoladas, podendo também ser instalada com o propósito de rentabilizar uma fonte próxima, reduzindo os gastos com energia elétrica.

Este tipo de energia não será desenvolvido no âmbito deste trabalho, uma vez que os requisitos necessários para a sua integração são bastante restritos: existência de cursos de água e dimensão do caudal, existência de albufeiras para armazenamento, etc. A oferta de soluções deste tipo é também uma barreira para o desenvolvimento desta forma de

aproveitamento energético, sendo um mercado até agora pouco explorado. Considera-se que o grande contributo da energia hidrelétrica está na produção em grande escala de energia elétrica e na sua injeção na rede, contribuindo assim para a diminuição do uso de combustíveis fósseis para a produção elétrica.

Capítulo 5 – Instalações para aproveitamento energético

5.1 Instalação solar térmica

Uma instalação solar térmica trata-se de um sistema com a capacidade de aproveitar o calor presente na radiação solar. Estes tipos de instalações são normalmente alojados junto ao edifício, proporcionado assim uma produção energética local sem necessidade de redes de transporte. Estes sistemas aproveitam o calor captado para o aquecimento de água através de um princípio de funcionamento baseado no efeito de estufa. A radiação solar com um determinado comprimento de onda incide sobre a cobertura de vidro que compõe a parte superior de um dispositivo designado como coletor solar. Ao interagir com o vidro, a radiação penetra para o interior do coletor solar, onde transfere o calor para um fluido térmico que circula em tubagens integradas no interior do coletor. Devido à variação e intermitência da energia solar, dificilmente torna-se possível satisfazer integralmente as necessidades instantâneas de aquecimento. Como tal, são integrados no sistema principal um conjunto de subsistemas que permitem o armazenamento e o apoio auxiliar através de uma outra fonte de energia.

5.1.1 Estrutura e componentes

Um sistema solar térmico é composto por vários subsistemas, sendo agrupados de acordo com a sua função. Os subsistemas típicos de um sistema solar térmico são os seguintes: Captação, Circulação, Acumulação, Controlo e Sistema de Apoio Auxiliar. Estes subsistemas estão ilustrados na figura 23.

O processo inicia-se no subsistema de captação, onde a radiação solar é recolhida por coletores solares e convertida em energia térmica, sendo transportada por um fluido de trabalho que circula em tubagens integradas nos coletores. Em seguida este fluido entra no subsistema de Circulação, onde é feito o encaminhamento do fluido por parte de tubagens, bombas e válvulas. O fluido é então direcionado para o subsistema de Acumulação, onde a energia térmica será armazenada para uso posterior. Nas situações em que o sistema térmico não consegue satisfazer as necessidades de energia térmica, o subsistema de Apoio Auxiliar garante a entrega da devida energia recorrendo a outra fonte energética. Para garantir a segurança e integridade do sistema, tal como uma otimização do funcionamento do sistema, é integrado um subsistema de Controlo que funciona como operador independente de todo o sistema solar térmico.

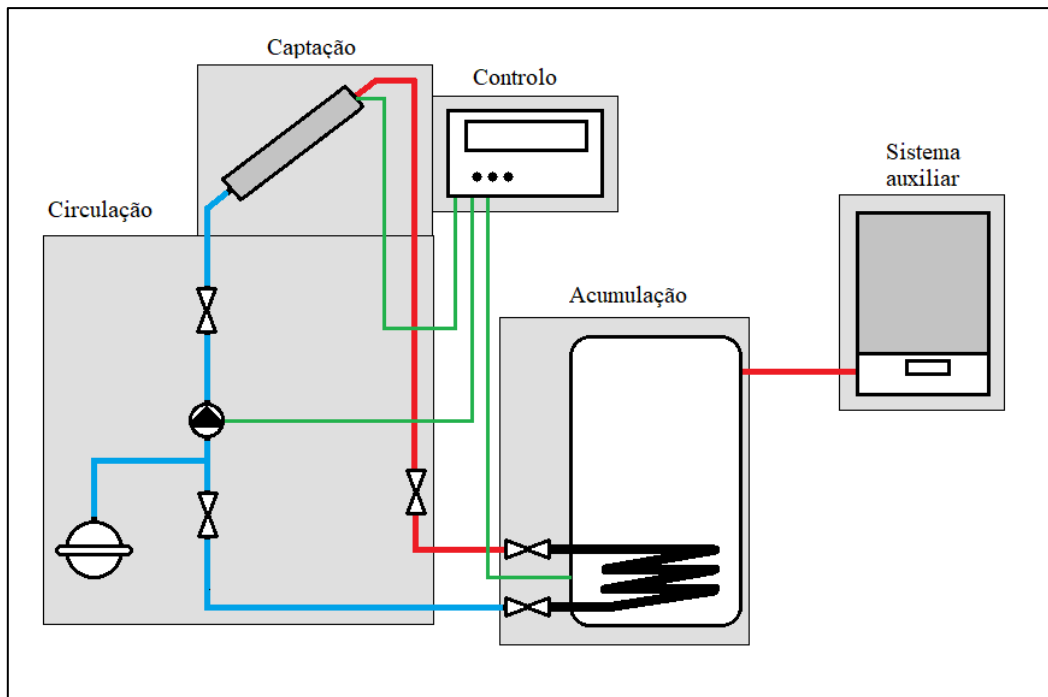


Figura 23 - Subsistemas de um sistema solar térmico. Fonte: Autoria do autor.

5.1.2 Sistema de captação

Para a captação solar são utilizados coletores solares, dispositivos que convertem a energia solar térmica em calor e o transferem para um fluido de trabalho. Estes dispositivos são tipicamente instalados nas coberturas dos edifícios e devem de estar orientados de maneira a maximizar os ganhos solares. Este ganho será máximo quando o coletor está posicionado perpendicularmente aos raios solares.

Dentro das várias gamas de coletores solares para aplicações domésticas disponíveis no mercado, o coletor solar plano é tipicamente o mais utilizado. Este tipo de coletor solar permite obter temperaturas no mínimo de igual valor à temperatura ambiente exterior e no máximo do valor do ponto de ebulição do fluido de trabalho. Esta gama de temperaturas é compatível com as necessidades de calor exigidas para aquecimento interior e preparação das AQS. O coletor solar térmico é tipicamente constituído pelos seguintes elementos:

- A caixa que serve como invólucro para os demais componentes e os protege das condições exteriores;
- A junta de estanquicidade da cobertura transparente, um material elástico que impede a entrada de água para o interior do coletor;
- A cobertura transparente, normalmente em vidro ou plástico transparente e que é responsável pelo efeito de estufa no interior do coletor. Para redução das perdas

por convecção derivadas do contacto entre a cobertura e o vento, podem ser aplicadas varia coberturas. Porém, introduzir mais coberturas acarreta certas consequências. O material que compõe a cobertura possui certas características físicas, as quais se faz destaque a três: absortividade, transmissibilidade e refletividade. A luz, ao passar pela cobertura, irá perder parte da sua energia, o que obriga a uma certa escolha no número de elementos a introduzir no coletor, tentando reduzir ao máximo a convecção, sem reduzir a energia que chega ao fluido térmico.

- O isolamento térmico, instalado de maneira a reduzir as perdas térmicas pelas partes laterais e pela parte posterior do coletor.
- A placa absorvedora, uma chapa metálica que funciona como permutador de calor, transferindo a energia térmica solar em calor para os tubos onde circula o fluido térmico. Este elemento pode ser revestido com uma pintura negra de maneira a aumentar a sua absorptância. A figura 24 ilustra alguns dos tipos de placas absorvedoras mais comuns.
- Sistema de tubagens, onde circula o fluido térmico que irá transferir o calor absorvido pelo coletor para o depósito de acumulação da instalação.

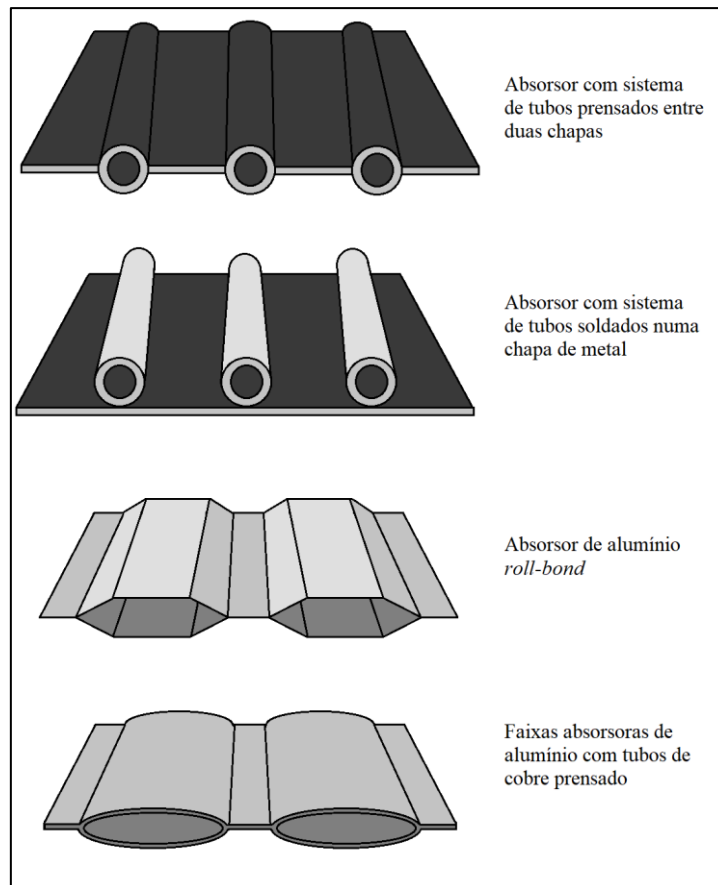


Figura 24 - Diferentes tipos de placas absorvedoras. Fonte: Adaptado de *Térmica de Edifícios*.

No caso de maior necessidade de energia térmica, é efetuada a ligação entre vários coletores. Esta ligação pode ser efetuada em série, em paralelo ou de forma mista, como ilustrado na figura 25.

A ligação em série efetua-se conectando a saída de um coletor com a entrada do coletor seguinte. Isto permite manter o caudal constante em todos os coletores e induz a um aumento da temperatura progressivo ao longo dos coletores. Porém este acréscimo de temperatura pode resultar na perda de eficiência devido à grande variação de temperatura entre a entrada e a saída, tal como no baixo acréscimo de temperatura que se obtém ao adicionar mais coletores. Outra desvantagem deste tipo de ligação trata-se das perdas de carga associadas aos coletores, que neste caso equivale à soma das perdas de carga individuais de cada coletor.

A ligação em paralelo efetua-se dividindo o caudal pelos diversos coletores, sendo somado à medida que se avança na instalação. Neste tipo de ligação a temperatura obtida à saída dos coletores é mais baixa comparativamente à ligação em série. De maneira a manter uma distribuição constante e uma perda de carga reduzida, os comprimentos das

tubagens deverão ser idênticos e os diâmetros deverão ser escolhidos de acordo com o caudal que os atravessa.

A ligação mista contempla os dois tipos de ligação e é utilizado em instalações de media ou grandes dimensões.

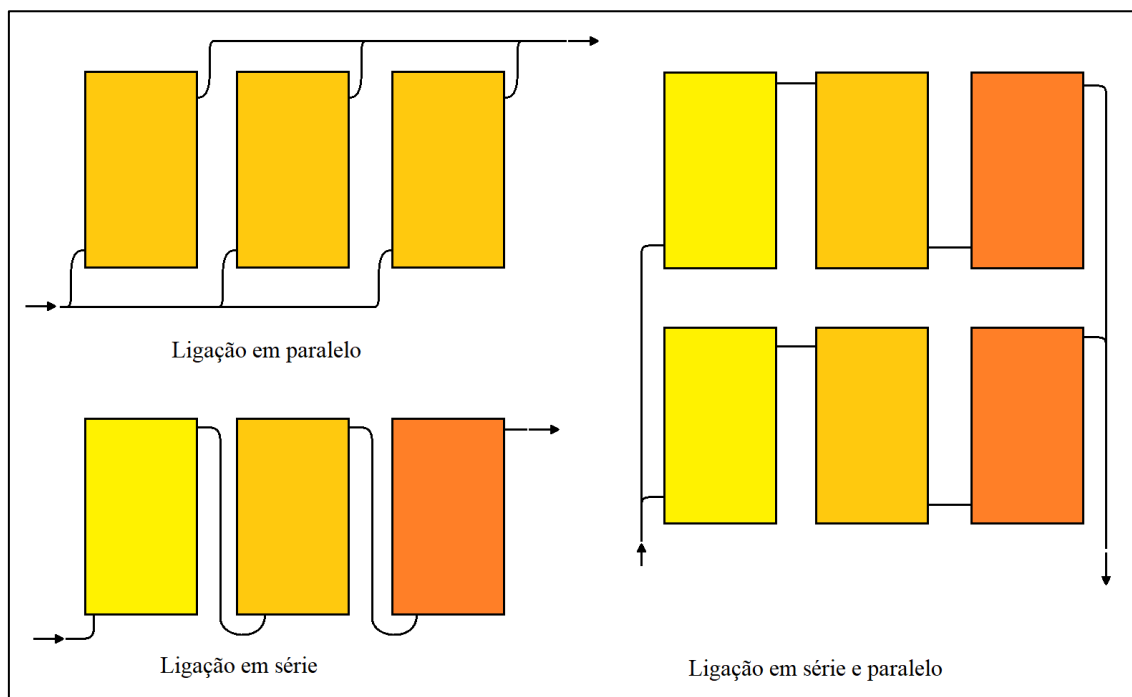


Figura 25 - Tipo de ligação entre coletores térmicos. Fonte: Adaptado de *Térmica de Edifícios*.

5.1.3 Sistema de acumulação

Devido à intermitência inerente à radiação solar, são necessários meios de armazenamento desta energia para ser possível a sua utilização em momentos de pouca ou nenhuma radiação solar. Para isso são instalados depósitos acumuladores à saída dos bancos de coletores solares, numa tentativa de ajustar o desfasamento de tempo existente entre a oferta e a procura. Os depósitos acumuladores podem ser caracterizados de acordo com a sua posição (vertical ou horizontal) e pelo tipo de permutador de calor incorporado (tubo liso, serpentina ou sem permutador). Outra característica importante nos depósitos acumuladores trata-se da estratificação da temperatura da água no seu interior. Esta característica é influenciada pelo caudal de fluido que circula no depósito, sendo que a diminuição deste caudal irá melhorar o desempenho do sistema devido ao maior tempo de residência do fluido dentro do depósito. Também a localização das entradas e saídas influencia na estratificação da temperatura no interior do depósito. Para um melhor desempenho, a entrada de água fria deve ser feita pela parte inferior do depósito e a saída de água quente deve ser feita na parte superior do depósito. Quanto ao fluido que retorna

aos coletores, deve ser retirado pela parte inferior do depósito onde a temperatura é mais fria, melhorando assim a eficiência do coletor e aumentando o rendimento global. Na situação em que o fluido de trabalho é distinto do fluido de consumo, é necessário efetuar a transferência de calor entre os dois fluidos. Para isso é utilizado um permutador de calor, geralmente instalado no interior do depósito acumulador, podendo existir casos em que o permutador se encontra instalado no exterior. No caso dos permutadores interiores, estes geram uma perda de carga inferior comparativamente aos permutadores exteriores, isto devido à pequena superfície de transferência. Estes tipos de permutadores são geralmente utilizados em instalações de pequenas dimensões, como é o caso de instalações solares para aplicações domésticas unifamiliares. Em instalações com grandes dimensões, é mais usual utilizar os permutadores de calor exteriores, sendo necessário a aplicação de coberturas isoladoras de calor de maneira a reduzir as perdas por convecção. Os permutadores interiores mais usuais são os de serpentina com uma eficiência típica de 55%. Na categoria de permutadores exteriores, os mais utilizados são os de placas com uma eficiência típica de 75% devido a possuírem uma maior superfície de contacto, possuindo, no entanto, uma perda de carga acentuada. Os permutadores tubulares são outro tipo de permutadores exteriores e são usados tipicamente em sistemas solares de aquecimento de águas em piscinas. Os permutadores para instalações solares domésticas são produzidos em aço inoxidável. Em sistemas de aquecimento de águas para piscinas, devido à presença de cloro na água, é recomendado o uso de permutadores produzidos com ligas de cobre e titânio.

5.1.4 Sistema de circulação

O sistema de circulação é o responsável pela transferência da energia térmica entre os vários componentes da instalação. Este sistema é composto pelos seguintes elementos:

1. Tubagens: componente onde circula o fluido de trabalho;
2. Fluido de trabalho: fluido que realiza o transporte e transferência da energia térmica. Pode tratar-se de fluido de consumo ou outro tipo de fluido com características específicas, como é o caso de fluido anticongelante;
3. Vasos de expansão: elemento que absorve as variações de volume derivadas das mudanças de temperatura que ocorrem no circuito;
4. Bomba de circulação: componente que força o movimento do fluido no interior da instalação. Para o seu dimensionamento é necessário ter em consideração as perdas de carga totais ao longo do circuito. De maneira a manter o bom funcionamento da bomba, esta é habitual ser instalada na saída do acumulador onde o fluido encontra-se a uma temperatura mais baixa.

5. Purgador de ar: elemento que permite a saída de ar acumulado no circuito. Este componente é instalado no ponto mais alto da instalação.
6. Válvulas: elemento mecânico que controla o caudal de fluido no sistema:
 - Válvula de corte: efetua o corte da passagem do fluido de trabalho;
 - Válvula de segurança: regula a pressão máxima no interior do circuito;
 - Válvula anti-retorno: restringe a circulação do fluido de trabalho num único sentido, impedindo que a instalação funcione inversamente. Este funcionamento inverso implica a perda de calor no depósito devido à circulação convectiva que ocorre na situação da bomba ser desligada;
 - Válvula de passagem: interrompe total ou parcialmente a passagem do fluido pelas tubagens. No caso das válvulas de fecho total, usam-se como separação entre partes do circuito. as de fecho parcial são utilizadas para impor uma perda de carga no sistema, regulando assim o caudal de fluido na instalação;
 - Válvula de três vias: permite a circulação por vias alternativas;
 - Válvula misturadora termostática: confere a mistura entre a água quente vinda dos coletores com a água fria da rede de distribuição. Permite proteger os equipamentos e os utilizadores da água que sai a altas temperaturas dos coletores;
 - Válvula de enchimento automático: efetua a introdução de água no sistema automaticamente, de maneira a manter estável a pressão do sistema.
7. Isolamento térmico: devido ao contacto de alguns elementos com o exterior, é aplicado um isolamento térmico de maneira a diminuir as perdas de calor, aumentando assim a eficiência global da instalação.

5.1.5 Sistema de controlo

Este sistema tem como propósito otimizar a gestão da energia do sistema solar térmico, tal como garantir a segurança do equipamento, fornecendo informações de medições em tempo real e reportar possíveis erros que ocorram durante o funcionamento. O circuito de controlo pode ser composto por vários componentes tais como bombas, sensores de temperatura e pressão, manómetros, caudalímetros e um controlador.

Nos sistemas solares ativos, o controlador é o elemento que avalia a disponibilidade de radiação solar, sendo a instalação posta em funcionamento de acordo com os comandos impostos pelo controlador. Dependendo do tipo de controlador, este pode ativar ou desativar outros elementos como bombas, válvulas, tal como o fornecimento de energia

auxiliar nas situações em que a energia solar não é suficiente para garantir as necessidades impostas.

Num controlado diferencial, o controlador efetua a leitura do sinal elétrico vindo de dois sensores, um localizado na zona mais quente do sistema à saída do coletor e outro localizado na zona mais fria do sistema no fundo do depósito. Estes dois valores são comparados e na situação em que a diferença entre eles atinge um valor tipicamente entre 3 e 14°C o controlador aciona a bomba. Na situação em que a diferença entre os valores decai para valores tipicamente entre 2 e 5°C, o controlador desliga a bomba. A figura 26 ilustra graficamente o funcionamento de um controlador diferencial.

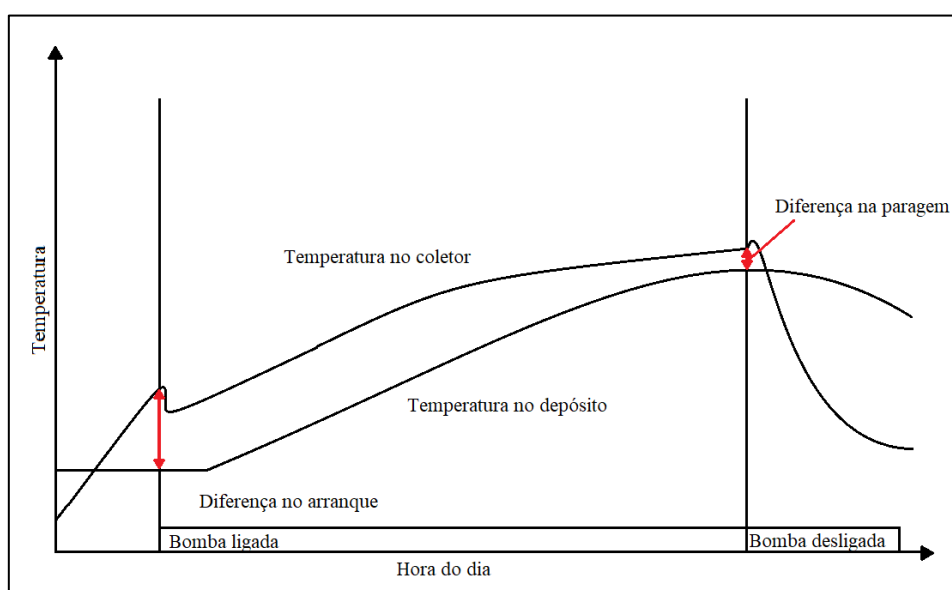


Figura 26 - Princípio de funcionamento do controlo diferencial. Fonte: *Térmica de Edifícios*

O controlador efetua também a regulação do caudal de acordo com as oscilações de temperatura. Como mencionado anteriormente, este controlo do caudal afeta no desempenho da instalação solar térmica, afetando a velocidade de transferência de calor do fluido. Por exemplo, na situação em que existe bastante radiação solar e consequente energia térmica, é recomendado um maior caudal de maneira a aproveitar o calor absorvido e evitar o sobreaquecimento do sistema. Em casos com menor radiação solar e menor energia térmica, é recomendado a circulação de um caudal mais reduzido, de maneira a otimizar a captação de energia aumentando o tempo de transferência de energia para o fluido.

Uma forma distinta de fazer o controlo da instalação solar térmica é integrar um modulo solar fotovoltaico como alimentação da bomba, como ilustrado na figura 27. O modulo solar fotovoltaico é sensível à radiação solar e produz uma diferença de potencial

variável de acordo com o nível de radiação que capta. Um sistema fotovoltaico bem dimensionado irá alimentar a bomba na medida necessária para uma circulação otimizada de acordo com a radiação disponível no momento. Esta solução possui ainda a vantagem de eliminar a necessidade de uma fonte de alimentação auxiliar para operar a bomba.

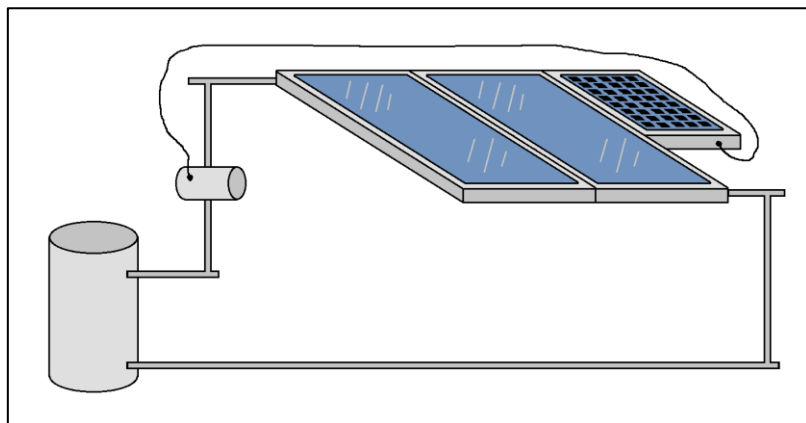


Figura 27 - Sistema de controlo fotovoltaico. Fonte: Adaptado de *Térmica de Edifícios*.

5.1.6 Sistema auxiliar

Apesar destes sistemas serem dimensionados de maneira a satisfazer as necessidades dos seus utilizadores, nem sempre é possível colmatar as mesmas a 100%. Por vezes a intermitência da radiação solar derivada de longos períodos de céu nublado ou ainda um consumo maior do que aquele estipulado leva à falta de energia armazenada no sistema solar térmico. Nesta situação, a instalação deve estar dotada de um sistema auxiliar de maneira a suprimir a energia em falta. Os sistemas auxiliares mais típicos são os que utilizam a eletricidade como fonte de energia, mas existem também sistemas que utilizam gás e sistema a biomassa conhecidos como recuperadores de calor. O fornecimento da energia auxiliar pode ser efetuado de distintas maneiras. É possível fornecer energia diretamente ao sistema de acumulação. Este fornecimento é tipicamente feito recorrendo a um permutador no interior do depósito acumulador conectado ao sistema auxiliar. Esta solução induz, porém, a um baixo desempenho da instalação solar em termos energéticos pois o sistema auxiliar irá atuar sempre que a temperatura dentro do depósito acumulador atinga valores baixos. Isto leva a que o sistema esteja constantemente a fornecer energia para o fluido de consumo, mesmo em momentos de baixo consumo como por exemplo durante o período noturno. Também o rendimento dos coletores é influenciado por esta solução, que devido à elevada temperatura do fluido proveniente do depósito acumulador passa a operar com uma baixa eficiência. Um método de eliminar este efeito passa por adicionar um segundo depósito acumulador ao sistema. A este novo elemento compete o aquecimento do fluido por parte do sistema

auxiliar, sendo feita a separação entre os dois aquecimentos. Neste caso, o fluido é pré-aquecido pela energia solar no primeiro depósito, sendo conduzido em seguida para o segundo depósito. Na situação da temperatura não atingir o valor pretendido, o sistema auxiliar entra em funcionamento fornecendo a energia térmica necessária no segundo depósito. A adição deste novo depósito acumulador leva a um aumento no volume de armazenamento da instalação, sendo traduzido num ganho anual de energia. Leva também a um melhoramento da eficiência do sistema por diminuir a temperatura do fluido que entra nos coletores. Esta solução acarreta, porém, custos monetários relacionados com a aquisição de mais um depósito, tal como a necessidade de mais espaço físico para colocação do mesmo. É também possível efetuar o aquecimento auxiliar fora do depósito acumulador. Neste caso o sistema auxiliar é ligado em serie à saída do depósito acumulador, sendo feita a leitura da temperatura do fluido que sai do depósito. Na situação em que a temperatura medida não satisfaz o valor pretendido, o fluido é direcionado para o sistema auxiliar de maneira a adicionar a energia térmica em falta. Esta solução é considerada mais eficiente pois não adiciona calor produzido por via convencional ao depósito acumulador, não influenciando a temperatura de funcionamento dos coletores. Anula também a necessidade de um segundo depósito, reduzindo assim os custos de aquisição e o espaço para instalação.

5.1.7 Tipos de circuitos

Uma instalação solar térmica pode ter os seus elementos combinados de diversas maneiras. Isto leva a que seja feita a diferenciação entre as diversas combinações possíveis. Um dos critérios utilizado para classificar as instalações relaciona-se com o tipo de circuito apresentado, podendo ser direto ou indireto.

No caso de uma instalação de circuito direto ou circuito aberto, o fluido de trabalho que circula nos coletores é o mesmo que é consumido pelo utilizador, tratando-se maioritariamente de água proveniente da rede de distribuição, como ilustrado na figura 28. Trata-se de uma instalação com um único circuito. uma desvantagem deste tipo de circuito prede-se a fato de não ser possível integrar nenhum método de proteção anticongelante.

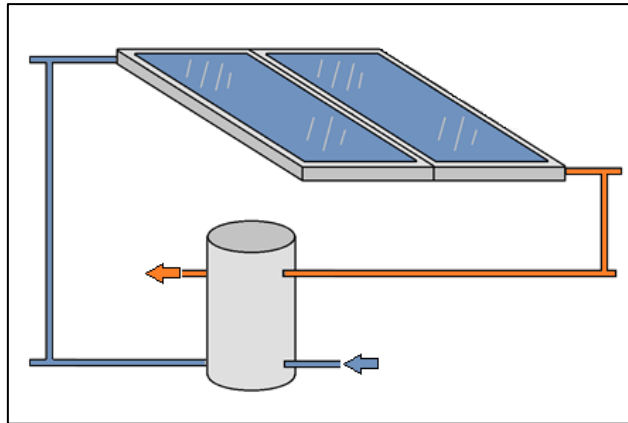


Figura 28 - Sistema térmico com circuito aberto. Fonte: Adaptado de *Técnica de Edifícios*.

No caso de uma instalação de circuito indireto ou circuito fechado, existe a separação entre o fluido que circula no coletor e o fluido de consumo, sendo a transferência de calor efetuada por um permutador de calor, como ilustrado na figura 29. O fluido que circula no coletor pode ser água da rede ou outro tipo de fluido com características específicas para a transferência de calor ou características anticongelantes. Este tipo de circuito é tipicamente aplicado em instalações situadas em locais cujas temperaturas atinjam valores negativos ou em situações em que a água proveniente da rede de distribuição apresenta um elevado teor de minerais, pondo em causa a integridade de alguns dos componentes da instalação.

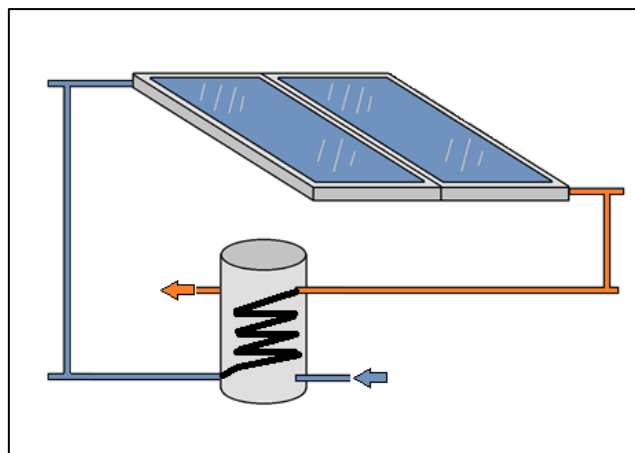


Figura 29 - Sistema térmico com circuito fechado. Fonte: Adaptado de *Técnica de Edifícios*

O sistema indireto pode ser composto por mais do que um circuito, como ilustrado na figura 30. A adição de circuitos ao sistema permite reduzir as perdas de calor por diminuição da variação de temperatura entre o coletor e o depósito, o que irá influenciar na eficiência global da instalação.

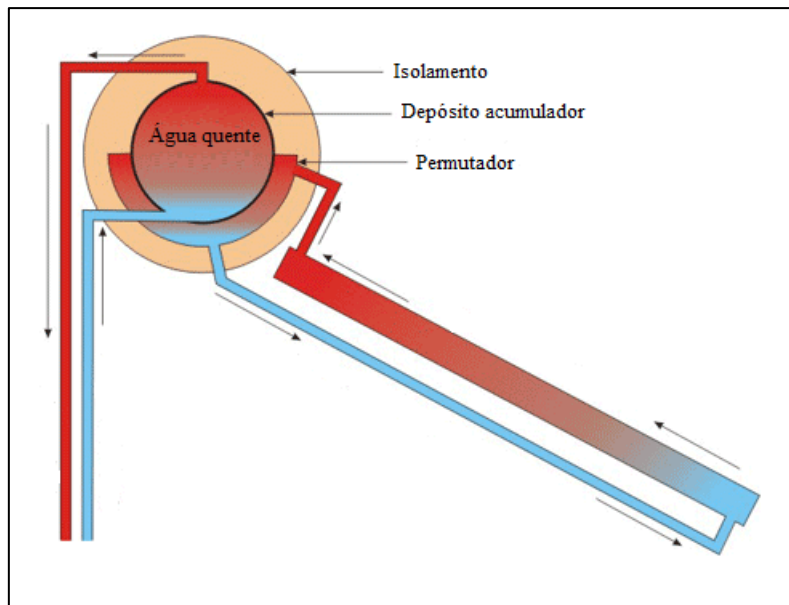


Figura 31 - Sistema de convecção natural. Fonte: Adaptado de simplesolarinfo.blogspot.com

Os sistemas são considerados ativos quando a circulação do fluido da instalação é realizada de maneira forçada por meio de bombas de circulação. O depósito de acumulação não necessita de estar situado junto à instalação, sendo benéfico que seja colocado dentro do edifício de maneira a minimizar as perdas térmicas e proporcionar maior durabilidade do material. Este sistema tem a vantagem de possuir um sistema de controlo de temperatura, algo que o sistema passivo não possui. Este controlo é feito de maneira a evitar o sobreaquecimento do sistema ou o congelamento do fluido de trabalho dentro das condutas. Uma desvantagem comparativamente ao sistema passivo prende-se com o custo da instalação que torna-se elevado devido à aquisição dos diversos componentes tal como a sua instalação.

5.1.9 Proteções contra congelamento e sobreaquecimento

Existem instalações solares térmicas localizadas em regiões que a dado período do ano atingem valores de temperatura extremos. As temperaturas negativas, tal como temperaturas elevadas conjugadas com elevada radiação solar acarretam consequências negativas quando aplicadas às instalações solares térmicas. Como tal, é necessário equipar a instalações com meios de prevenir os danos causados pelas condições adversas do local de implantação. Em condições com temperaturas negativas, o sistema é afetado pelo congelamento do fluido de trabalho no interior das condutas. O congelamento do fluido levará à expansão do seu volume, o que irá provocar danos significativos nas condutas e aumentar a pressão na instalação. O tipo de instalação que melhor previne esta

situação trata-se do sistema térmico indireto, pois efetua a separação entre o fluido de trabalho e o fluido de consumo. O fluido do circuito primário, aquele que circula pelos coletores, deve possuir propriedades anticongelantes, pois será este o fluido que estará em contacto com as condições exteriores.

Serão agora apresentados alguns métodos de proteção contra o congelamento, certificados pela ICC-RSCC (*Solar Rating & Certification Corporation*):

- Fluido anticongelante: tipicamente é adicionado glicol à água que circula no circuito primário. Esta mistura deve ser verificada periodicamente, pois existe a degradação das qualidades anticongelantes ao longo do tempo.
- Sistema *drain-back*: este sistema de drenagem automática coleciona o fluido exposto às condições exteriores para o interior de um pequeno depósito, instalado num espaço interior. Na situação em que a bomba é desligada, o fluido é direcionado para o depósito de drenagem por ação da gravidade, sendo as condutas preenchidas com ar. Uma vez no depósito de drenagem, o fluido está protegido das condições exteriores, evitando assim o seu congelamento.
- Circulação forçada: Na situação em que se verifica temperaturas quase negativas (3 a 5°C), o sistema efetua a recirculação do fluido primário, aproveitando a energia térmica armazenada no depósito acumulador. Este sistema apresenta o inconveniente de reduzir a energia armazenada no depósito e aumentar a necessidade de energia auxiliar. Enquanto se verificar temperaturas baixas, este sistema irá efetuar a recirculação do fluido quente através do sistema primário, sendo este tipo de soluções adequados para climas moderados com períodos curtos de baixas temperaturas.

O sobreaquecimento da instalação, consequência da elevada radiação solar e temperatura exterior, levam a inúmeros danos dos vários sistemas. O calor em excesso propicia a degradação dos fluidos de transferência térmica e certos componentes, tal como a diminuição da eficiência global da instalação. As situações de sobreaquecimento são também frequentes em alturas de baixos consumos como a época de verão ou períodos de ausência dos moradores. O sobreaquecimento pode ser evitado através do correto dimensionamento da instalação, tendo em conta as necessidades de aquecimento e as condições meteorológicas do local de implementação. Ainda assim, são elaboradas algumas soluções aquando desta situação se suceder. Serão agora apresentados alguns métodos de proteção contra o sobreaquecimento, certificados pela ICC-RSCC:

- Sistema *drain-back*: tal como na situação de congelamento, este sistema de drenagem protege o sistema do sobreaquecimento ao armazenar o fluido do

circuito primário num depósito de drenagem. O funcionamento é idêntico ao explicitado para o caso anterior. Na situação de temperatura máxima limite o sistema de controlo desliga a bomba de circulação, sendo o fluido armazenado no depósito por efeito da gravidade e o circuito primário preenchido com ar exterior.

- Dissipador térmico: a dissipação de calor excedente na instalação pode ser efetuada mediante de equipamentos específicos tal como dissipadores de calor ou serpentinas, tal como através da circulação durante o período sem radiação do fluido no circuito primário. Também a transferência de calor para o aquecimento de água de piscinas ou dissipação para o solo podem ser alternativas para lidar com excesso de calor na instalação solar térmica.
- Ventilação dos coletores: na iminência de atingir a temperatura máxima limite, um ventilador instalado nos coletores é ativado, arrefecendo a placa absorvedora com ar ambiente através do processo de convecção.
- Encobrimento do campo de coletores: de maneira a diminuir a radiação incidente sobre os coletores, efetua-se a cobertura do campo de coletores solares de forma automática ou manual.

5.1.10 Aplicações

A energia captada e armazenada por uma instalação solar térmica pode ser utilizada para diversos fins. A utilidade mais usual será a utilização da energia para aquecimento de águas para uso doméstico em casas de banho e cozinhas. Para além das AQS, o calor pode ser utilizado para climatização dos espaços interiores dos edifícios tal como para aquecimento da água de piscinas ou de eletrodomésticos tal como máquinas de lavar loiça e roupa. A instalação solar térmica pode ser dimensionada de maneira a satisfazer todas estas necessidades, sendo, no entanto, necessário priorizar as cargas de acordo com os requisitos dos utilizadores. Numa instalação que proceda ao fornecimento de energia às cargas anteriormente referidas, a sequência de tarefas habitual será em primeiro lugar satisfazer as necessidades da AQS, sendo em seguida efetuado o aquecimento ambiente e por último o aquecimento da água de piscinas e outros eletrodomésticos. É de referir que as cargas referidas exigem diferentes níveis de temperatura de funcionamento, sendo necessário um sistema de controlo devidamente programado que confira as necessidades para cada aplicação. Referente ao uso da instalação para aquecimento ambiente, existem diversas formas de aproveitamento através de equipamentos como radiadores, convetores e pisos radiantes hidráulicos. Dos equipamentos referidos, o piso radiante é aquele que oferece um melhor conforto térmico, mantendo as zonas junto ao pavimento mais quentes e junto ao teto menos quentes.

5.2 Instalação solar fotovoltaica

A energia solar pode ser convertida em energia elétrica e posteriormente consumida pelos sistemas incorporados num edifício. Tipicamente este tipo de instalações está diretamente conectados à rede de distribuição elétrica (*ON GRID*). Isto permite que a energia produzida seja consumida localmente quando existe procura, ou que seja injetada na rede de distribuição quando a procura é baixa. Quando isto acontece, esta energia excedente pode ser vendida à rede de distribuição.

Para além das instalações do tipo *ON GRID* existem ainda instalações autossustentáveis (*OFF GRID*) e aplicações diretamente alimentadas pelo fotovoltaico. As instalações do tipo *OFF GRID* são normalmente instaladas em zonas remotas onde a rede de distribuição elétrica não alcança. O dimensionamento deste tipo de sistemas requer um conhecimento preciso dos consumos elétricos de maneira a evitar a falta de energia. Um gerador pode ser agregado a este tipo de instalação de maneira a fornecer a energia em momentos de escassez solar. A acumulação de energia é feita através de um banco de baterias devidamente dimensionado para a carga aplicada.

Uma instalação fotovoltaica pode ainda ser dimensionada para alimentar diretamente uma determinada aplicação, como é o caso de bombas de água. Nesta situação é necessário determinar qual o valor consumido pela aplicação e dimensionar um sistema capaz de produzir esse valor.

5.2.1 Estrutura e Componentes

Um sistema solar fotovoltaico é composto por diversos subsistemas, sendo atribuído a cada um deles uma respetiva função. Os subsistemas típicos de um sistema solar fotovoltaico são os seguintes: Captação, Conversão e Armazenamento. É de referir que uma instalação solar pode funcionar apenas com o subsistema de captação, sendo que a integração dos outros subsistemas vai depender da finalidade prevista para a instalação.

O processo inicia-se no subsistema de captação, onde a radiação solar é convertida em diferença de potencial pelos painéis fotovoltaicos. Em seguida, de maneira a possuir os requisitos necessário para ser utilizada em equipamentos domésticos, a energia é convertida através de inversores eletrónicos. Alguns destes elementos possuem também a função de controlo da instalação, informando o utilizador em tempo real da energia produzida e consumida. Após a conversão, a energia pode ser consumida ou armazenada em bancos de baterias.

5.2.2 Sistema de captação

Uma matriz solar é constituída por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez são formados por células fotovoltaicas. A potência gerada por um módulo é proporcional ao seu número de células constituintes. A figura 32 ilustra a composição de um sistema de captação fotovoltaico.

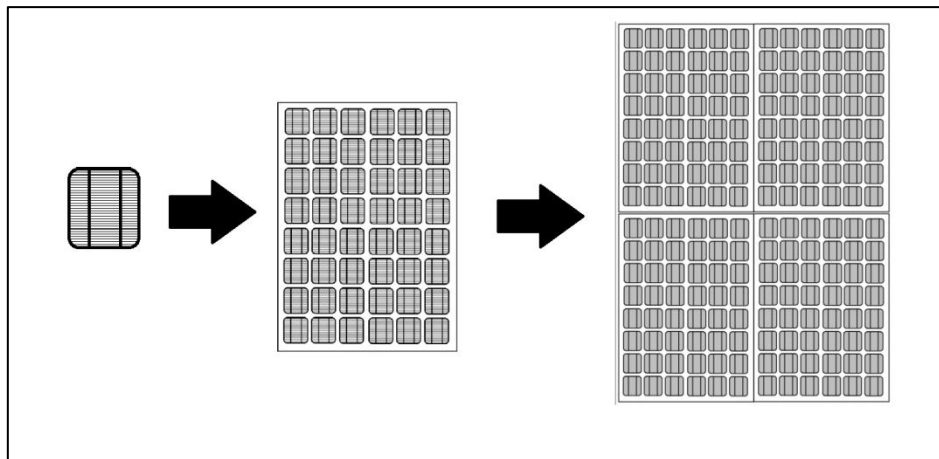


Figura 32 - Célula, Módulo, Matriz. Fonte: Autoria do autor

A produção de energia via solar tem início nos módulos fotovoltaicos. Devido às propriedades físicas dos materiais, em particular do silício, quando um fóton de luz incide sobre uma célula fotovoltaica é produzida energia. A este fenómeno dá-se o nome de efeito fotoelétrico [7]. Para além da radiação, a temperatura também influencia o desempenho das células fotovoltaicas, mais concretamente na potência produzida. O aumento da temperatura de cada célula traduz-se num leve incremento da corrente elétrica e num decréscimo considerável da diferença de potencial [8]. Grande parte dos módulos fotovoltaicos comercializados possuem as suas condições testadas em laboratório de acordo com as condições standard de teste (STC). Estes testes são realizados submetendo os módulos a uma irradiação de 1kW/m^2 , garantindo uma temperatura nas células de 25°C e uma massa de ar de 1,5 (AM 1,5). Estas condições permitem obter uma estimativa de potência produzida por módulo, apesar de na prática estes valores raramente se verificarem. Isto é devido à constante variação de irradiação, que apenas no pico diário terá o valor de 1kW/m^2 , tal como à variação da temperatura, que será mais elevada do que os 25°C estipulados. Como tal, o cálculo da potência gerada com base nestes valores não traduz a realidade, pelo que é necessário realizar alguns ajustes aos valores de irradiação e temperatura.

São agora descritos três passos para o cálculo da produção máxima de um módulo ou instalação em condições diferentes das STC.

1. Nesta etapa, é introduzido o parâmetro NOCT, que corresponde ao valor de temperatura normal das células fotovoltaicas durante a sua operação. Este valor é normalmente fornecido pelos fabricantes dos painéis. Com este valor, juntamente com o valor da irradiância solar (G) e a temperatura ambiente (T_{amb}), é possível calcular a nova temperatura das células fotovoltaicas.

$$T_{cel} = T_{amb} + \left(\frac{NOCT - 20^\circ}{0,8} \right) \times G \quad (6)$$

2. Em seguida é efetuado o cálculo da potência máxima que será produzida devido apenas à variação da irradiância. Nesta etapa a temperatura da célula é de 25°C , como estipulado nas condições STC.

$$P(G, 25^\circ)_{max} = \frac{P_{STC} \times G}{1 \left(\frac{kW}{m^2} \right)} \quad (7)$$

3. Finalmente efetua-se o cálculo da potência máxima produzida em função da irradiância e da temperatura da célula utilizando o coeficiente de potência da temperatura (α_p), parâmetro que também deve de ser fornecido pelos fabricantes.

$$P(G, T_{cel})_{max} = P(G, 25^\circ\text{C})_{max} \times (1 + \alpha_p) \quad (8)$$

Esta potência corresponde ao valor obtido quando o painel é sujeito a uma determinada irradiação e temperatura das células num determinado momento. Para uma determinação mais exata da potência gerada ao longo do dia, estes parâmetros devem de ser ajustados de acordo com a sua evolução diária.

5.2.3 Sistema de conversão

Grande parte dos aparelhos e sistemas utilizados nos edifícios requerem uma alimentação no formato AC. Uma vez que os módulos fotovoltaicos apenas produzem energia em DC, é necessário converter este sinal para AC. A solução passa por integrar um inversor posteriormente aos módulos. Este dispositivo converte o sinal de entrada recorrendo a componentes eletrónicos como transformadores, interruptores e circuitos de controlo. Dependendo do tipo de instalação fotovoltaica, existem diversos tipos de inversores:

- Inversor *OFF GRID*: Utilizado em instalações *OFF GRID*, este tipo de inversor converte a energia DC proveniente dos módulos em AC e em seguida deposita esta energia em baterias. No caso de escassez solar esta tecnologia possui a função de controlar a reposição de energia nas baterias proveniente de uma fonte auxiliar.
- Inversor *ON GRID*: Utilizado em instalações *ON GRID*, este tipo de inversor converte o sinal de saída de maneira a possuir as mesmas características que o sinal presente na rede elétrica de distribuição. Devido à ligação com a rede, este tipo de inversor possui uma serie de seguranças que desligam o fornecimento de energia no caso de falha elétrica na rede de distribuição.
- Inversor Híbrido: Esta gama de inversores possui as características dos modelos anteriores num único aparelho. As cargas podem ser alimentadas pelos módulos fotovoltaicos, pela energia armazenada nas baterias ou pela energia da rede de distribuição.
- Micro Inversor: Os micro inversores possuem o mesmo tipo de funcionamento que os demais inversores, porém operam a uma potência menor. Tipicamente conseguem coordenar entre um a quatro módulos, dependendo do modelo do micro inversor. Uma característica que difere os micro inversores dos restantes inversores é o facto de operar cada painel independentemente do restante campo solar. Isto torna-se importante no caso de sombreamentos dos painéis. No caso de inversores de *string*, o sombreamento num dos painéis fotovoltaicos prejudica todo o campo solar, o que reduz a eficiência da instalação devido a uma menor produção energética. Na situação de uma instalação com micro inversores, o sombreamento de um painel fotovoltaico não irá afetar o restante campo solar, sendo a perda de eficiência apenas referente ao painel afetado. A implementação de mais campo solar é facilitado quando se recorre a micro inversores. Apesar de ser em menor número a quantidade de painéis que um micro inversor acopla, é possível conectar vários micro inversores em série, aumentando a energia produzida pela instalação. Uma outra vantagem da utilização destes aparelhos prende-se com a possibilidade de conectar painéis com diferentes especificações sem pôr em causa o bom funcionamento da instalação.

Para além do tipo de instalação, a potência gerada pela mesma representa um outro parâmetro de escolha do inversor. Para o devido funcionamento, o inversor deve ter a capacidade de gerir a potência gerada pelo campo fotovoltaico. Dos vários elementos que integram a instalação solar fotovoltaica, o inversor é aquele que possui menor tempo de vida e que provoca mais falhas na instalação fotovoltaica. Um estudo realizado por *Huang*

et al. [9], verificou que 60% das anomalias detetadas em instalações fotovoltaicas deviam-se a problemas relacionados com os inversores. A alta potência a que certos inversores estão sujeitos provoca um aumento substancial de temperatura, causando o deterioramento do aparelho e dos seus componentes eletrónicos. Isto obriga a que inversores dimensionados para altas potências estejam equipados com sistemas de refrigeração e dissipadores de calor. A tabela 9 demonstra a relação entre a potência gerida pelo inversor e o seu tempo estimado de vida.

Tabela 9 - Potência e tempo de vida para cada tipo de inversor [10]

Tipo de inversor	Intervalo de Potência (W)	Tempo de Vida (anos)
ONGRID/OFFGRID/Híbrido	1000-10000	5-15
Micro Inversor	200-300	25

Verifica-se que devido ao funcionamento em potências mais baixas, os micro inversores possuem uma estimativa de vida maior quando comparados com os demais inversores.

5.2.4 Sistema de armazenamento

Uma instalação autossustentável possui como requisito o armazenamento de energia de maneira a providenciar um fornecimento contínuo de energia durante os períodos de escassez solar. Este armazenamento deve ser dimensionado de maneira a fornecer no mínimo a energia necessária para uma noite [11]. O armazenamento da energia solar fotovoltaica é realizado através de baterias específicas para o projeto solar. A eficiência da instalação solar depende da configuração e condições de operação das baterias escolhidas, tal como a necessidade de manutenção com vista ao aumento de vida destes elementos. São agora referidos alguns requisitos importantes referentes às baterias para armazenamento solar fotovoltaico [12]:

- Baixo custo;
- Alta eficiência energética;
- Tempo de vida prolongado;
- Baixa manutenção;
- Construção robusta;
- Baixa auto-descarga;
- Intervalo de temperaturas de operação amplo.

No mercado da tecnologia solar é possível encontrar diversos modelos de baterias solares. Os parâmetros que as distinguem são a capacidade de armazenamento e os

materiais que as compõem. A capacidade deste tipo de baterias é medida em Ampére-hora (AH). Considere-se o seguinte exemplo: uma bateria que possua uma capacidade de armazenamento de 100AH poderá alimentar uma carga de 10 Ampére durante 10 horas. Porém, se esta carga necessitar de 100 Ampére, a bateria só poderá alimentá-la durante 1 hora. Em relação aos materiais presentes nas baterias, trata-se da composição química a principal característica que as distingue. Na tabela 10 são apresentados os diferentes tipos de baterias solares utilizados e algumas das características que as distinguem.

Tabela 10 - Tipos e características de baterias solares [10]

Tipo	Energia específica (Wh/kg)	Tempo de vida (ciclos)	Custo (€/kWh)
Acido-Chumbo	25-35	250-750	50
Níquel	65-75	700	>600
Lítio	100-150	1000	>600

O tempo de vida de uma bateria é fortemente influenciado pelo modo a que esta opera ao longo da sua vida. As baterias para armazenamento solar estão dimensionadas para efetuar um certo número de ciclos de carga e descarga. No entanto, a maneira como se procedem estas cargas e descargas influenciam na longevidade das baterias, sendo por vezes necessário estipular certos regimes para carregamento e descarregamento das baterias. Para instalações com baterias integradas, torna-se imperativo que exista algum tipo de controlador que defina limites para a carga e descarga das baterias. Este controlador deverá proteger as baterias de sobrecarga, evitar a descarga profunda e determinar o estado de carga das baterias. Atualmente já existem inversores que efetuam estas tarefas que permitem perlongar o tempo de vida das baterias. Chegando ao fim de vida, é importante a nível ambiental que estas baterias sejam depositadas em locais próprios e recicladas. Atualmente já existem processos de reciclagem específicos para cada tipo de bateria. Materiais como o plástico e o metal são separados, limpos e enviados para centros de reciclagem, onde certos processos mecânicos como a fundição e a extrusão alteram a sua forma até um estado em bruto. Esta matéria volta então a ser utilizada para o fabrico de novas baterias. Da mesma forma se procede com os compostos químicos como o mercúrio ou o lítio, porém os processos de tratamento destes elementos podem ser mais dispendiosos e possuir uma baixa rentabilidade. Dos vários tipos de baterias, o acido-chumbo é aquele com melhor grau de reciclagem possui [13].

5.3 Instalação eólica

A produção de energia elétrica através do aproveitamento eólico é muito similar à produção via aproveitamento solar, pelo que os componentes presentes em ambas as instalações, à exceção do elemento de captação, são os mesmos. As turbinas eólicas podem ser integradas em instalações solares fotovoltaicas como meio de aumentar a potência produzida, tal como providenciar energia nos períodos em que o sistema fotovoltaico está inativo. Esta tecnologia converte a energia cinética presente numa massa de ar em eletricidade através de um gerador. Este elemento é em muito semelhante a um motor elétrico, mas em funcionamento inverso, convertendo movimento em energia. Esta energia é gerada sobre a forma de corrente contínua (DC), pelo que é necessário a introdução de um inversor no sistema de maneira a poder ser utilizada a nível doméstico e/ou introduzida na rede elétrica.

5.3.1 Tipos de turbinas eólicas

As turbinas eólicas são distinguidas de acordo com o eixo em torno do qual rodam os perfis alares ou pás. Quando o eixo de rotação encontra-se na horizontal, é dada a denominação de turbina de eixo horizontal ou HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*). No caso o eixo de rotação encontra-se na vertical, é dada a denominação de turbina de eixo vertical ou VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*). A figura 33 ilustra estes dois tipos de turbinas.

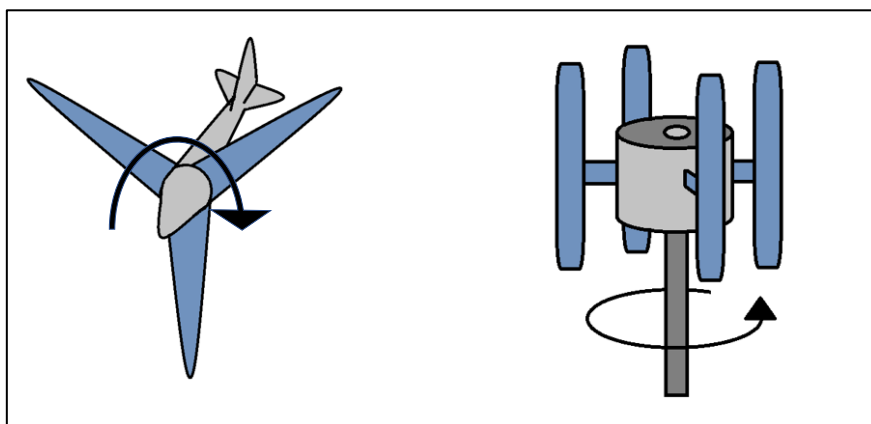


Figura 33 - Turbinas do tipo HAWT (esquerda) e VAWT (direita). Fonte: Autoria do autor

As turbinas eólicas do tipo eixo horizontal são as mais utilizadas para a geração de energia via eólica. Este tipo de turbina utiliza a força de sustentação criada pela interação entre o vento e o perfil alar, tal como ilustrado na figura 34. De maneira a maximizar a captação da energia cinética do vento, os perfis alares necessitam de estar posicionados

perpendicularmente ao escoamento de ar. No entanto, devido á irregular direção dos ventos, esta posição encontra-se em constante mudança. A solução para este problema passa por permitir que a turbina efetue o movimento de rotação em torno do seu eixo vertical e pela adição de um estabilizador na parte traseira da turbina. Algumas destas turbinas possuem a característica de alterar a posição dos perfis alares, permitindo dissipar energia quando sujeita a ventos de alta velocidade. Tipicamente em condições de ventos fortes é acionado um travão que impede os perfis de rodar. No entanto, esta adaptação permite não só salvaguardar a instalação de danos, mas também aproveitar alguma da energia captada.

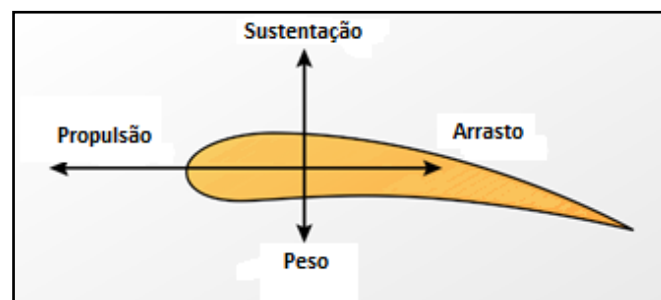


Figura 34 - Forças presentes num perfil alar. Fonte: Autoria do autor

As turbinas eólicas do tipo eixo vertical utilizam a força de arrasto que o vento cria sobre as pás para criar movimento. Este tipo de turbina é menos usual de encontrar, tanto em aplicações domésticas como em instalações de grandes dimensões. Devido à configuração das pás, as turbinas verticais são alheias à mudança de direção do vento, conseguindo aproveitar a energia do vento proveniente de qualquer direção. A configuração do eixo de rotação colocado na posição vertical permite ainda que elementos mecânicos como a caixa de velocidades ou o gerador sejam colocados ao nível do solo, reduzindo o peso da instalação e os esforços sobre a estrutura de suporte. Uma desvantagem deste tipo de turbinas prende-se com a velocidade do vento sobre as pás da turbina. Ventos a baixa velocidade não possuem a energia suficiente para dar início ao processo de geração elétrica. Quando sujeitadas a ventos de alta velocidade, as pás não possuem a capacidade de dissipação de energia através da alteração do ângulo de entrada, podendo sofrer danos nos componentes elétricos e elemento estruturais.

5.3.2 Fundamentos da Captação Eólica

A energia produzida tem como fonte o escoamento de ar (vento). Considerando as propriedades deste escoamento como as de um fluido, é possível estudar o seu comportamento e assim obter os melhores resultados na produção de energia. Numa

tentativa de melhor entender os parâmetros que influenciam a potência gerada pela deslocação de uma massa de ar, e feita uma análise à seguinte equação:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (9)$$

Esta equação relaciona a potência (P) gerada por uma massa de ar com massa volúmica (ρ) que atravessa uma área (A) a uma velocidade (v). Uma análise às variáveis da equação conclui que a velocidade representa um dos parâmetros que mais influencia a potência gerada, uma vez que se encontra elevada a uma potência de terceiro grau. Isto significa que um aumento para o dobro do valor da velocidade irá aumentar em oito vezes o valor da potência.

Determinada a importância da velocidade no cálculo da potência gerada, é realizado agora um estudo com o preposto de melhor entender o comportamento do fluxo de vento, considerando-o como um fluido. Parte-se do pressuposto que o vento possui o comportamento de um fluido em regime laminar e que o seu escoamento se assemelha a um fluido a escoar sobre uma placa plana. O desenvolvimento deste escoamento encontra-se ilustrado na figura 35.

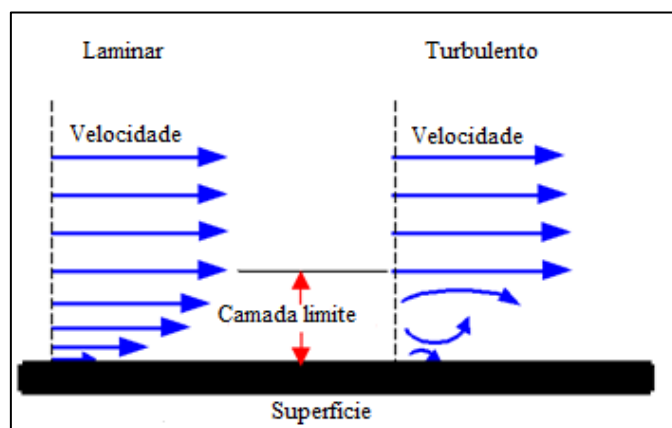


Figura 35 - Escoamento laminar sobre uma placa plana. Fonte: Autoria do autor

Verifica-se que a velocidade do escoamento é constante até certo ponto, a partir do qual começa a diminuir com a diminuição de altura, chegando a ser nula junto da superfície. Este fenómeno deve-se devido à força de atrito entre a superfície e o fluido, causando um “atraso” nas camadas inferiores do escoamento. A esta camada em desenvolvimento é dada a denominação de camada limite ou camada limite atmosférica quando referida à camada de ar acima da superfície terrestre. Esta camada limite

atmosférica desenvolve-se de tal maneira que apenas a cerca dos mil metros de altura é que o efeito da superfície terrestre deixa de se fazer sentir no escoamento [14].

Assimilando esta informação e correlacionando com o caso da geração de energia, é perceptível a importância de colocar as turbinas eólicas a uma certa distância acima do nível do solo.

No entanto, é necessário referir que o pressuposto admitido anteriormente do escoamento ser laminar nem sempre se verifica. Em muitos casos a presença de obstáculos no percurso do escoamento obriga a mudanças de direção. Estas mudanças de direção afetam a componente de velocidade e pressão do fluido, originando um escoamento turbulento. Ao contrário do escoamento laminar, um escoamento turbulento não possui as características que permitam a previsão do seu comportamento. Edifícios, vegetação, encostas ou desníveis são alguns dos obstáculos que destabilizam a forma do escoamento e que colocam em causa a produção de energia através do vento. Como tal, é necessário um estudo prévio do local de implementação duma instalação eólica de maneira a verificar a viabilidade do projeto.

Voltando à equação (9), uma outra variável que influencia a potência produzida será a área varrida pela turbina. Para as turbinas de eixo horizontal, a área varrida corresponde à área do círculo desenhado pelos perfis alares em rotação, ou seja:

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2 \quad (10)$$

Em que D representa o diâmetro da turbina. Isto significa que a potência gerada é proporcional ao quadrado do diâmetro da turbina. No caso das turbinas de eixo vertical, a área varrida depende da forma das pás. Para uma turbina como a ilustrada na figura 33, a área varrida corresponde ao retângulo formado pela altura das pás e pelo comprimento entre pás.

Um último aspecto a verificar diz respeito ao número de pás constituintes da turbina. A escolha do número de pás tem influência direta na eficiência aerodinâmica da turbina. O custo dos componentes e a fiabilidade do sistema são outros parâmetros que podem intervir na escolha do número de pás de uma turbina. Nas turbinas de eixo horizontal é habitual utilizar-se duas ou três pás, sendo que grande parte das turbinas existentes utilizam esta configuração. Em teoria o aumento do número de pás proporciona um aumento na eficiência aerodinâmica, sendo que uma turbina teria a sua eficiência maximizada ao possuir um número infinito de pás de espessura nula. Em prática verifica-se que o aumento de uma para duas pás existe um aumento de 6% na eficiência

aerodinâmica, enquanto que aumentado de duas para três pás, o aumento da eficiência será apenas de 3%. Este declínio de crescimento é devido ao aumento das forças de arrasto e ao aumento de peso associados ao incremento de componentes. Ainda assim, verifica-se que três pás representa uma solução aceitável em termos de energia captada, estabilidade de rotação e custo com componentes [15]. Em turbinas de eixo vertical, a forma da pá determina o número de elementos a implementar. Em turbinas com pás lineares, como ilustrado na figura 33, é usual instalar-se entre três a sete pás. A nível de desempenho energético, uma turbina com três pás produz menos energia quando comparada com uma turbina de apenas uma pá. Com quatro pás a produção é um pouco maior, existindo, no entanto, um ponto de rotação em que as pás perdem a tensão imposta pelo vento, originando um desequilíbrio de forças que pode levar a danos na estrutura. Com cinco pás é possível produzir cerca de 1,5 vezes mais energia do que com apenas uma pá. A adição da quinta pá elimina também o problema do desequilíbrio mencionado anteriormente, sendo a captação efetuada de maneira mais suave. Com sete pás a produção de energia é ainda maior, porém, este aumento no número de pás obriga a uma distância menor entre elementos, dando origem à interferência entre a pá que sai do escoamento e a pá que está a entrar. Esta situação pode ser solucionada com a construção de rotor maior, aumentando assim a distância entre pás [16]. Existem ainda modelos de turbinas de eixo vertical que operam apenas com duas pás como é o caso da turbina de Darrieus, ilustrada na figura 36.



Figura 36 - Turbina de Darrieus no Quebec. Fonte: Wikipédia

5.4 Instalação para Aproveitamento de Combustíveis Renováveis

A utilização de combustíveis para geração de calor ou energia em edifícios terá sido um dos primeiros métodos de aproveitamento energético utilizado pelo homem. Com o passar do tempo e o avançar da tecnologia, este aproveitamento tem sofrido alteração numa tentativa de melhorar o seu rendimento e reduzir as emissões de poluentes.

De maneira a libertar a sua energia química, estes combustíveis são sujeitos ao processo de combustão. Dependendo do combustível utilizado, são necessários dispositivos que contenham a energia libertada e a canalizem para determinado destino, seja para produção de calor, aquecimento de águas sanitárias ou geração de eletricidade. A figura 37 ilustra a cadeia energética dos combustíveis renováveis, sendo esta dividida em quatro estágios: o tipo de combustível, o seu formato, a tecnologia correspondente e a finalidade dada à energia produzida.

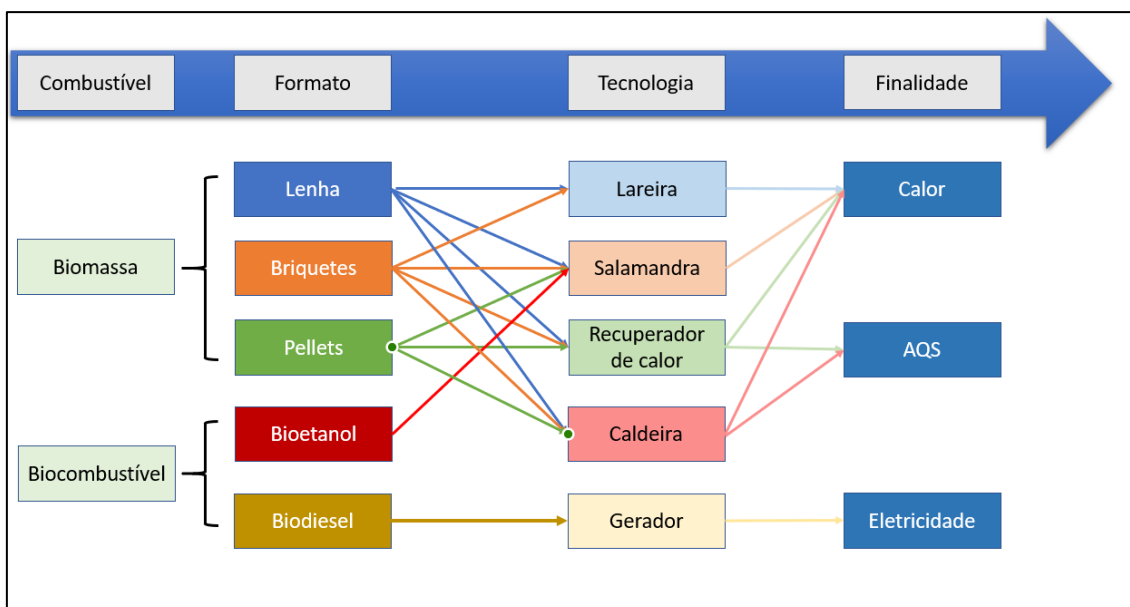


Figura 37 - Cadeia energética dos combustíveis renováveis. Fonte: Autoria do autor

Como ilustrado na figura anterior, existem diversos tipos de equipamentos dimensionados para fornecer energia tendo como fonte combustíveis de natureza renovável.

Serão agora apresentados alguns destes equipamentos numa tentativa de descrever as soluções possíveis para o aproveitamento energético dos combustíveis em edifícios de habitação.

5.4.1 Lareiras

A queima de biomassa no interior dos edifícios tornou-se uma prática comum e com isso veio a necessidade de proporcionar um local seguro onde efetuar essa combustão. As lareiras terão sido dos primeiros sistemas de aproveitamento de calor inseridos em edifícios. Inicialmente estas lareiras eram abertas para o interior do edifício, sem qualquer tipo de barreira entre os dois ambientes, como ilustra a figura 38. Isto permitiria acesso ao interior da lareira, facilitando a confeção de alimentos, sendo este o seu principal propósito. Este tipo de lareiras não deve ser utilizado para aquecimento ambiente devido à sua baixa eficiência, mas também por ser uma fonte de emissão de partículas poluentes para o interior do edifício.



Figura 38 - Lareira aberta para o interior do edifício. Fonte: casaeconstrução.org

Atualmente as lareiras são equipadas com uma moldura de metal e uma folha de vidro que impedem a infiltração de partículas poluentes para o interior do edifício. Tipicamente as lareiras são dimensionadas juntamente com os planos de construção do edifício, sendo inseridas em salas de lazer ou locais amplos com ligações às diversas divisões do edifício. De maneira a evitar perdas de calor por condução para o exterior, as lareiras não devem de ser inseridas junto a paredes em contacto com o exterior. Devem sim ser construídas o mais próximo do centro do edifício. Devido às altas temperaturas atingidas no processo de combustão da biomassa, as lareiras devem de ser construídas na sua totalidade por materiais refratários. Estes materiais possuem a capacidade de suportar altas temperaturas sem alterar as suas propriedades físicas e químicas tais como a

resistência mecânica, a condutividade térmica e a condutividade elétrica. Tipicamente surgem sobre a forma de tijolos de alvenaria como ilustrado na figura 39.



Figura 39 - Tijolo refratário. Fonte: topeca.pt

De maneira a proporcionar uma combustão eficiente, é necessário que exista um fluxo de ar contínuo no interior da lareira ou de qualquer outro dispositivo que funcione como câmara de combustão. Com isto importa ter em conta a insuflação e extração de ar do interior da lareira. A introdução do ar necessário à combustão pode dar-se de duas formas, através de ar interior ou de ar exterior. Instalações mais simples utilizam diretamente o ar interior através de orifícios localizados num nível abaixo do nível onde se efetua a combustão. Devido ao efeito de convecção do ar, este é insuflado para o interior da lareira naturalmente sem necessidade de ventilação mecânica. Uma contrapartida desta solução consiste no facto de se alimentar a combustão com ar quente interior. Isto implica que parte da energia obtida pela combustão é retida do interior do edifício desnecessariamente, diminuindo assim o rendimento da instalação. A utilização de ar exterior como alimentação da combustão permite solucionar a situação anterior. De maneira a realizar a alimentação de ar, é necessário instalar uma conduta que conecte o ambiente exterior ao interior da lareira. Dependendo da dimensão da conduta e das perdas de carga associadas, pode ser necessário a instalação de um ventilador que forneça o caudal de ar necessário para uma combustão eficiente. Em relação à extração dos gases de combustão, esta é tipicamente feita para a atmosfera através de uma chaminé como ilustrado na figura 40. Este elemento é construído juntamente com a lareira e é projetado para o exterior do edifício. De acordo com a legislação portuguesa a construção de chaminés para extração de fumos deve ser feita tendo em conta certos parâmetros como o tipo de combustível queimado, o caudal volumétrico de gases emitidos e a presença de obstáculos situados na vizinhança da fonte de emissão [17]. As chaminés desempenham um papel fundamental no desempenho energético das lareiras. O mau dimensionamento da chaminé pode levar a duas situações distintas: a fraca ventilação ou o excesso de ventilação. No primeiro caso, a chaminé dimensionada não possui a capacidade de

evacuar os gases de combustão, originando a acumulação de fumos no interior da lareira. Isto leva à extinção da combustão e em lareiras com fraca estanquicidade pode originar a introdução de fumo para o interior do edifício. Uma possível solução passa por instalar um ventilador no topo da chaminé. No caso do sobredimensionamento da capacidade de ventilação da chaminé, o excesso de caudal de ar provoca o aceleração do processo de combustão. Este fenómeno leva a um aumento do combustível necessário e diminui o calor aproveitado. Uma solução para este problema será o controlo da admissão de ar na entrada ou na saída da lareira.

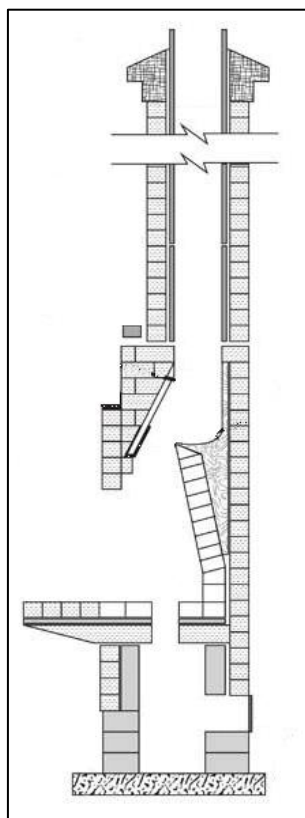


Figura 40 - Vista em corte de uma chaminé típica de uma lareira. Fonte: Adaptado de a1chimneypro.com

Recentemente tem surgido no mercado uma nova gama de lareiras que utilizam como combustível o bioetanol. Apesar da designação de lareiras, muitos destes dispositivos são simples incineradores de etanol. Em termos de poder calorífico, o etanol possui um PCI de 7 kWh/kg e um PCS de 8 kWh/kg [18]. Estes valores são superiores aos obtidos na combustão de alguns tipos de biomassa (entre 4 e 5 kWh/kg, dependendo da espécie). A grande desvantagem encontra-se no preço de aquisição deste combustível. Verifica-se que este tipo de lareiras é utilizado mais numa base de ornamentação do que de aquecimento interior, como ilustra a figura 41.



Figura 41 - Lareira a bioetanol. Fonte: Leroy Merlin

5.4.2 Salamandras e fornos a lenha

A evolução do processo de fundição de metais trouxe novos mecanismos de aproveitamento de calor nos edifícios. As salamandras e os fornos a lenha são exemplos desses novos mecanismos, sendo que cada um deles serve um propósito diferente: salamandras para aquecimento ambiente e fornos a lenha para confecção de alimentos. O desenvolvimento da utilização de outras fontes de energia como o gás e a eletricidade levou ao desuso dos fornos a lenha para preparação de alimentos, pelo que não será dado tanto ênfase a estes dispositivos. As salamandras, porém, continuam a ter um papel importante em muitas residências familiares como fonte de aquecimento ambiente. Como dispositivos para aquecimento interior, as salamandras possuem algumas vantagens comparativamente às lareiras. Em primeiro lugar são equipamentos móveis, não estando confinados ao seu local de instalação. Isto facilita a limpeza, a inspeção e a reparação do equipamento. Em períodos de pouco ou nenhum uso como é o caso da estação quente, é possível a sua transferência para um local mais apropriado, desimpedindo o espaço interior para outras finalidades.

Estes equipamentos possuem incorporados mecanismos de controlo de admissão de ar como grelhas de admissão ou registos de caudal de ar. A figura 42 representa uma salamandra típica com os diversos componentes.



Figura 42 - Salamandra a biomassa. Fonte: Adaptado de eletrogemeos.pt

Na situação da existência de uma lareira no edifício, é possível acoplar uma salamandra no interior dessa lareira como ilustrado na figura 43 e assim aproveitar as características de ambas as instalações sem necessidade de reestruturar o interior do edifício.



Figura 43 - Salamandra acoplada a uma lareira. Fonte: Autoria do autor

Tal como as lareiras, as salamandras também possuem a necessidade de evacuar os gases de combustão para o exterior. Esta exaustão é realizada através de uma conduta metálica acoplada à salamandra e que é conduzida até ao exterior do edifício. Esta conduta é instalada através de uma chaminé existente junto ao local de instalação da salamandra. Na situação de inexistência de chaminé será necessário realizar uma abertura através da parede ou da cobertura.

5.4.3 Recuperadores de calor

Os recuperadores de calor possuem um funcionamento semelhante ao de uma salamandra, porém possuem mecanismos de permutação de calor que permitem recuperar algum do calor perdido pelos gases de escape. Este calor recuperado é transferido para um fluido, podendo trata-se de ar ou água. A figura 44 ilustra os diversos escoamentos de ar no interior de um recuperador de calor.

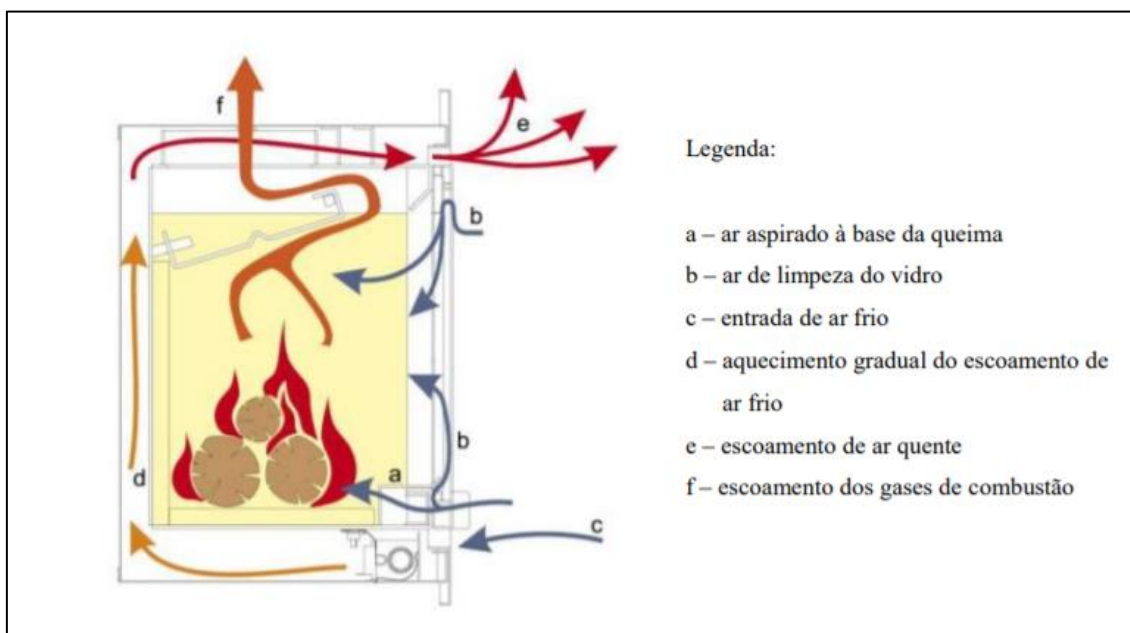


Figura 44 - Escoamentos no interior de um recuperador de calor. Fonte: Dimensionamento de uma lareira com recuperador de calor, Joana de Freitas Teixeira.

Para além de providenciar aquecimento ambiente local, o recuperador de calor pode também ser utilizado como aquecimento central. A figura 45 ilustra alguns casos de aplicações do calor recuperado. Nesta situação o calor é transferido para um fluido e utilizado diretamente para o aquecimento de pisos radiantes hidráulicos e radiadores. O fluido quente pode ainda ser armazenado num depósito acumulador e ser utilizado para as águas quentes sanitárias.

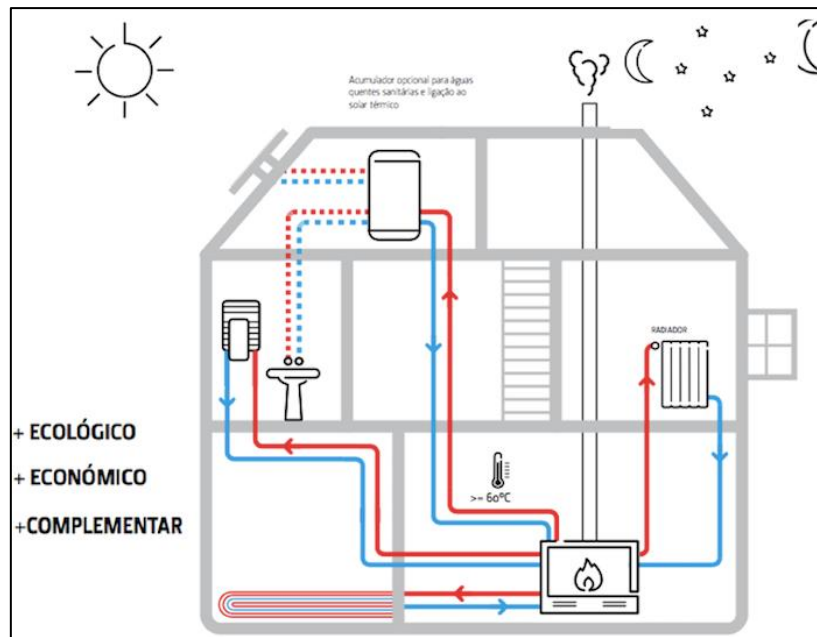


Figura 45 – Aplicações do calor recuperado em diferentes zonas do edifício. Fonte: *erfolconter.pt*

Os recuperadores de calor possuem a vantagem de poderem ser associado a um sistema integrado de energias renováveis. Como estudado anteriormente, existe alguma intermitência na variante solar, o que torna a utilização de coletores solares uma variável inconstante no aquecimento de águas quentes sanitárias. A integração de um recuperador de calor ao sistema permite colmatar a falta de energia derivada dessa intermitência, isto considerando que os dias com menor incidência solar se fazem sentir durante a estação fria.

5.4.4 Caldeiras

As caldeiras são aparelhos destinados ao aquecimento de águas sanitárias ou à produção de vapor de água para aquecimento central. Esta tecnologia terá sido das primeiras na produção de águas quentes nos edifícios, sendo alimentada exclusivamente a biomassa. Ao contrário das lareiras e salamandras que possuem uma vertente decorativa, as caldeiras são elementos puramente mecânicos dimensionados com o propósito de fornecer calor. Como tal são instalados em locais com pouca afluência humana tal como oficinas ou pequenos armazéns no exterior do edifício. Sendo utilizadas para aquecimento central, as caldeiras requerem a instalação de condutas que possibilitem o transporte do fluido aquecido até ao seu determinado destino, como ilustrado na figura 46.

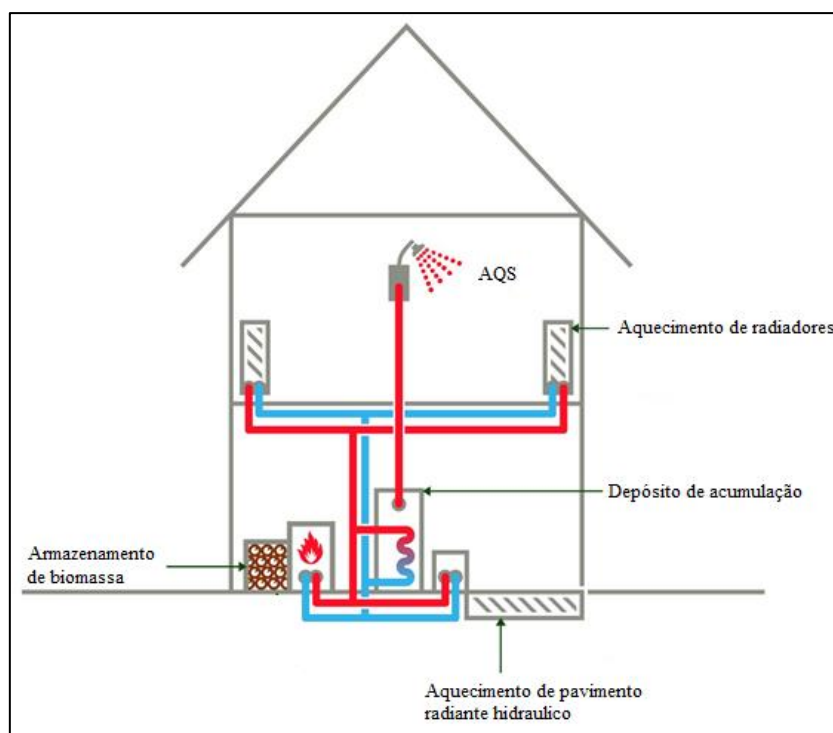


Figura 46 - Esquema da distribuição do calor produzido por uma caldeira doméstica. Fonte: Adaptado de desogo.elenabetchke.com

Com o desenvolvimento industrial e o despertar de novas fontes de energia, as caldeiras passaram a ser alimentadas a gás e derivados do petróleo. Devido à subida dos preços dos combustíveis fósseis e à consciencialização do efeito da emissão de gases poluentes no ambiente, os modelos mais recentes de caldeiras domésticas voltaram a utilizar como fonte de energia a biomassa.

As caldeiras serão as tecnologias de aquecimento por combustão que mais avanços tecnológicos sofreram ao longo do tempo. Atualmente estes dispositivos são dotados de sistemas de controlo que permitem o seu funcionamento sem a necessidade de operadores. O processo de combustão foi também otimizado através do sistema de ignição automático e do controlo de admissão de ar. As perdas de calor foram diminuídas através da aplicação de materiais termicamente isolantes e a uma disposição favorável dos componentes no interior da caldeira. Quanto às necessidades de aquecimento, o sistema de controlo determina qual a taxa a que desse ser realizada a combustão de maneira a tornar o processo o mais constante possível, evitando a constante necessidade de ignição e oclusão da caldeira. Isto leva ainda à necessidade de automatização do processo de abastecimento de combustível. Dependendo da forma do combustível, existem uma série de soluções que permitem o abastecimento contínuo da caldeira. No caso de lenha ou briquetes, são utilizados compartimentos verticais para armazenar o combustível, sendo direcionados para a câmara de combustão através do efeito da gravidade. No caso do combustível no

formato de *pellets* ou de lascas de madeira, são utilizados tapetes rolantes ou sistemas em parafuso que transportam o combustível do local de armazenamento para o interior da caldeira. Isto permite o armazenamento da matéria combustível num local específico, separado da zona de funcionamento da caldeira, evitando assim a instalação do depósito de armazenamento e prevenindo o risco de incêndio.

Estes avanços permitiram não só um aumento na eficiência energética destes dispositivos, mas também na redução da emissão de gases poluentes, mais especificamente na emissão de monóxido de carbono (CO). A figura 47 e figura 48 demonstram a evolução de eficiência e da emissão de monóxido de carbono referentes a caldeiras para uso doméstico, referentes um estudo levado a cabo pelo Instituto Federal de Engenharia Agrícola da Áustria (FJ-BLT) [19].

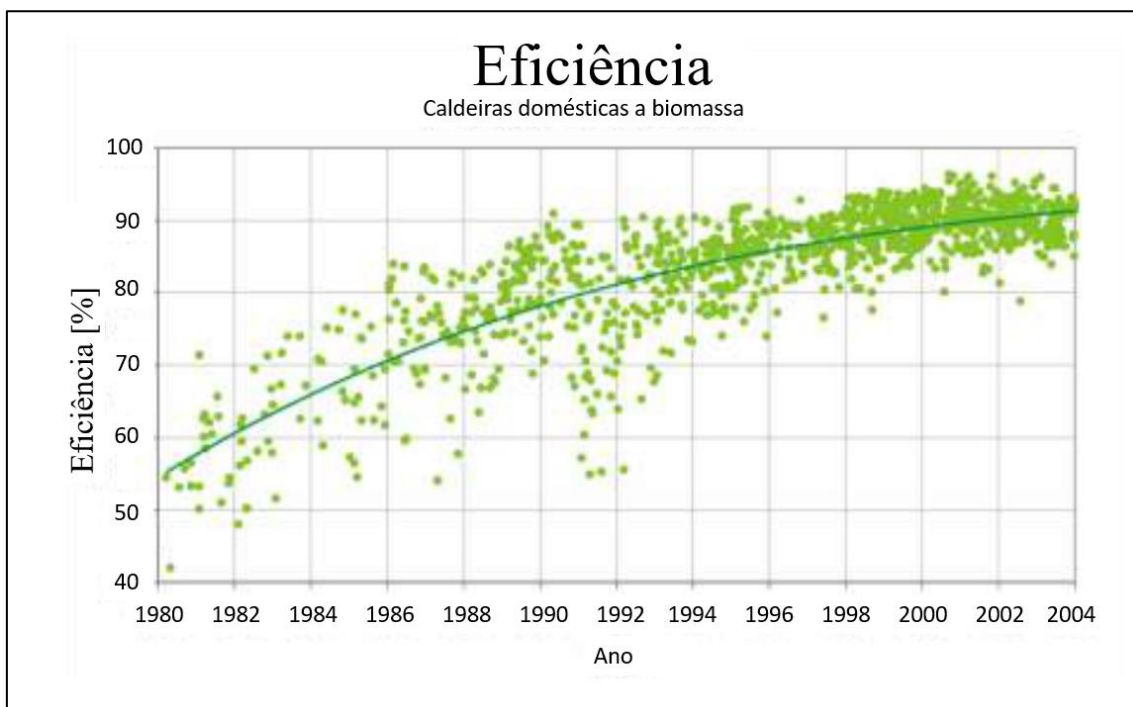


Figura 47 - Evolução da eficiência energética das caldeiras domésticas a biomassa ao longo do tempo. Fonte: Adaptado de *Small scale heating systems*, Annalisa Paniz

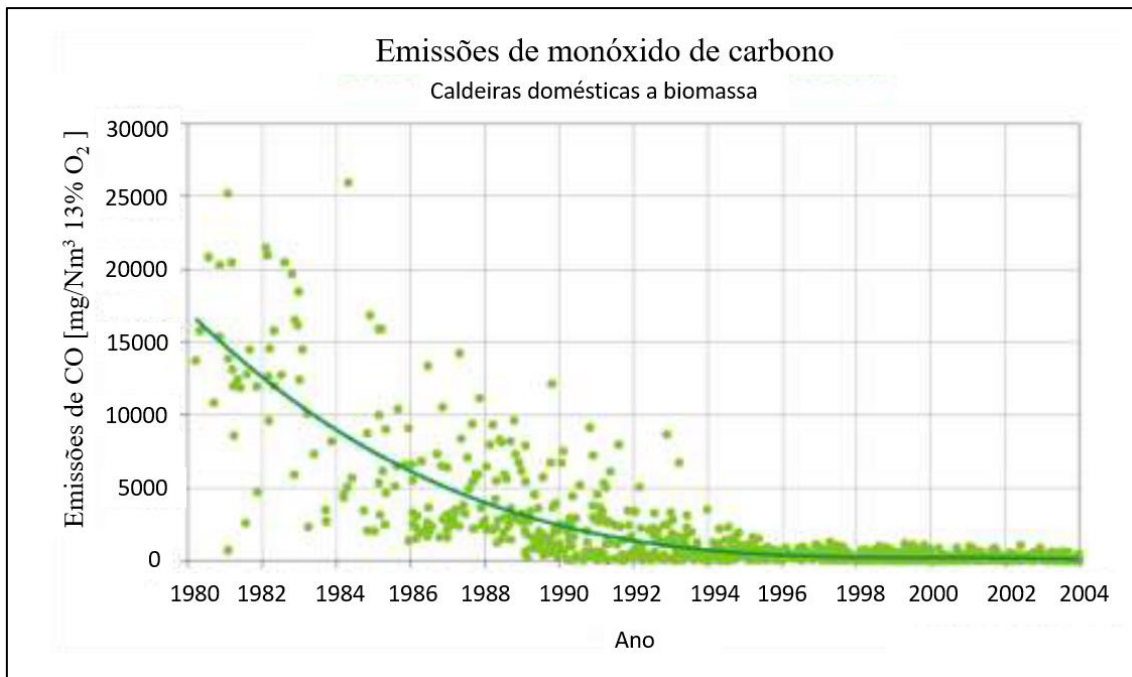


Figura 48 - Evolução das emissões de monóxido de carbono provenientes da utilização de caldeiras à escala doméstica. Fonte: Adaptado de *Small scale heating systems*, Annalisa Paniz

5.4.5 Geradores elétricos

A necessidade de geração de energia elétrica através da utilização de combustíveis está associada a locais remotos sem acesso à energia da rede ou com intermitências da mesma. Atualmente esta geração é feita a partir de combustíveis de origem fóssil como a gasolina ou o diesel. A alternativa de substituir os combustíveis fósseis por biocombustível tem sido um tópico bastante abordado. Certos estudos comprovam que uma mistura entre o diesel fóssil e o biodiesel pode ser utilizada pelos motores a diesel atuais. Contudo, a sua utilização pode trazer danos a longo prazo. O biodiesel possui propriedades corrosivas que deterioram as partes metálicas dos depósitos, elementos vedantes e mangueiras. Apesar de ser um combustível mais “limpo”, a longo prazo irá produzir mais resíduos devido à destruição de componentes e à necessidade de substituição desses mesmos [20].

Porém começam a surgir no mercado geradores elétricos que utilizam biocombustível para fornecimento energético. Esta tecnologia ainda encontra-se em desenvolvimento e grande parte dos geradores já produzidos são destinados à grande indústria e não ao setor residencial.

5.5 Bombas de calor

Uma bomba de calor pode ser descrita como um aparelho que utiliza energia para realizar a troca de calor entre dois ambientes a diferentes temperaturas. Esta tecnologia tem sido desenvolvida com o intuito de melhorar a eficiência dos sistemas de climatização, pelo que pode ser aplicada para aquecimento e arrefecimento de espaços interiores, tal como para a produção de AQS.

5.5.1 Componentes

De maneira a realizar a transferência de calor de um ambiente para um outro, é necessária a combinação de diversos componentes mecânicos, dimensionados especificamente para realizar determinada função tal como compressão ou expansão de um fluido. A figura 49 apresenta o esquema de uma bomba de calor reversível seguida da tabela 11 com os principais componentes.

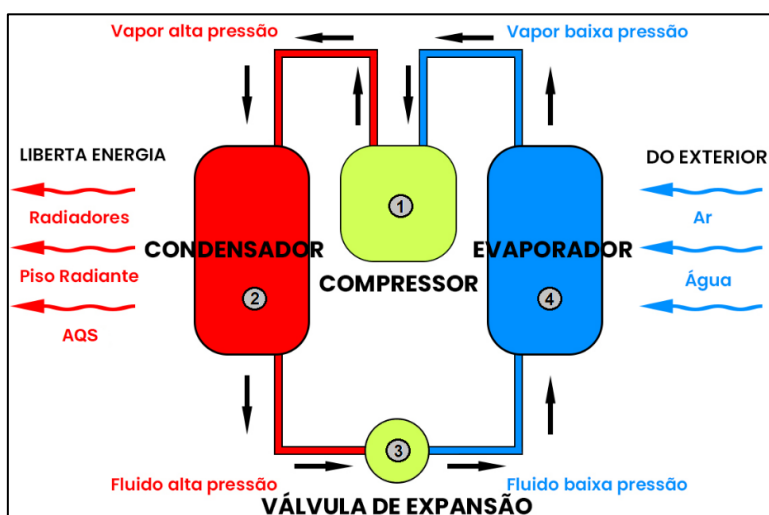


Figura 49 - Componentes de uma bomba de calor. Fonte: Adaptado de obras360.pt

Tabela 11 - Lista dos principais componentes de uma bomba de calor

Numeração	Elemento	Descrição
1	Compressor	Elemento que efetua a compressão do fluido de trabalho. Dos diversos elementos, este é o único que consome eletricidade.
2	Condensador	Permutador de calor que efetua a transferência do calor para o depósito, refrigerando o fluido de trabalho, isto no ciclo de aquecimento.
3	Válvula de expansão	Componente com secção variável que produz uma redução de pressão no fluido e consequentemente a descida de temperatura.
4	Evaporador	Permutador de calor que realiza as trocas de calor entre o fluido de trabalho e o ambiente exterior.

Tipicamente este tipo de aparelhos possui uma unidade exterior, instalada no exterior do edifício, também conhecido como SPLIT. Esta unidade possui no seu interior todos os componentes acima descritos à exceção do condensador e de algumas válvulas de segurança que são instaladas na unidade interior. Este tipo de instalação produz menos ruído interior, requer um menor espaço de instalação e não requer condutas para a canalização de ar. A figura 50 ilustra um SPLIT típico.

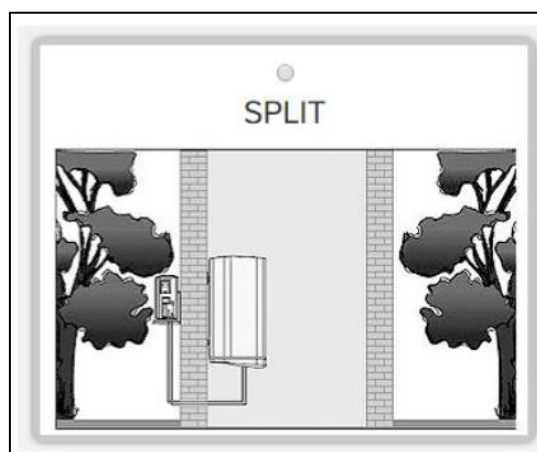


Figura 50 - Bomba de calor SPLIT. Fonte: Como escolher uma bomba de calor, Ariston

Atualmente já são fabricadas bombas de calor no formato de monobloco, excluindo a necessidade de uma unidade exterior, como ilustrado na figura 50. Estes aparelhos têm em si integrados todos os componentes descritos numa tentativa de tornar a sua instalação mais simples, sem a existência de componentes separados. Uma contrapartida deste tipo de bombas de calor é a necessidade de instalação de condutas de ar exterior.

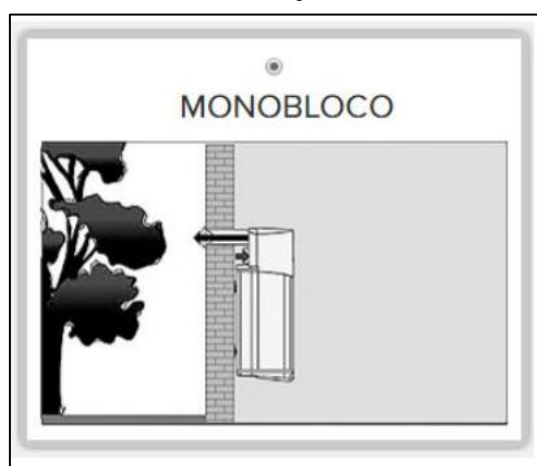


Figura 51 - Bomba de calor Monobloco. Fonte: Como escolher uma bomba de calor, Ariston

5.5.2 Princípio de funcionamento

O ciclo tem início no evaporador, onde o fluido de trabalho entra a baixa temperatura e baixa pressão. Dentro do evaporador o fluido capta o calor do ambiente exterior, seja ele proveniente do ar atmosférico, um fluido ou o solo. Ao captar este calor, o fluido altera o seu estado físico de líquido para gasoso. Em seguida é conduzido até ao compressor, onde sofre um aumento de pressão e de temperatura devido ao processo de compressão. O fluido de trabalho possui agora um estado elevado de energia. É agora conduzido até ao condensador, onde ao circular através do permutador de calor perde parte da sua energia térmica. Esta energia pode então ser aproveitada para aquecer o ar ambiente ou água. O fluido de trabalho, agora em estado líquido, atravessa a válvula de expansão. O aumento da secção leva a que diminua de pressão, estando de novo nas condições iniciais do ciclo. Este ciclo repete-se até o evaporador não conseguir retirar energia do ambiente e/ou o condensador não conseguir transmitir energia para o ambiente.

Devido à natureza reversível do sistema, este ciclo é utilizado tanto para aquecimento como para arrefecimento, existindo válvulas que efetuam a troca de sentido do ciclo. A figura 52 representa os ciclos de aquecimento e arrefecimento realizados pela mesma bomba de calor.

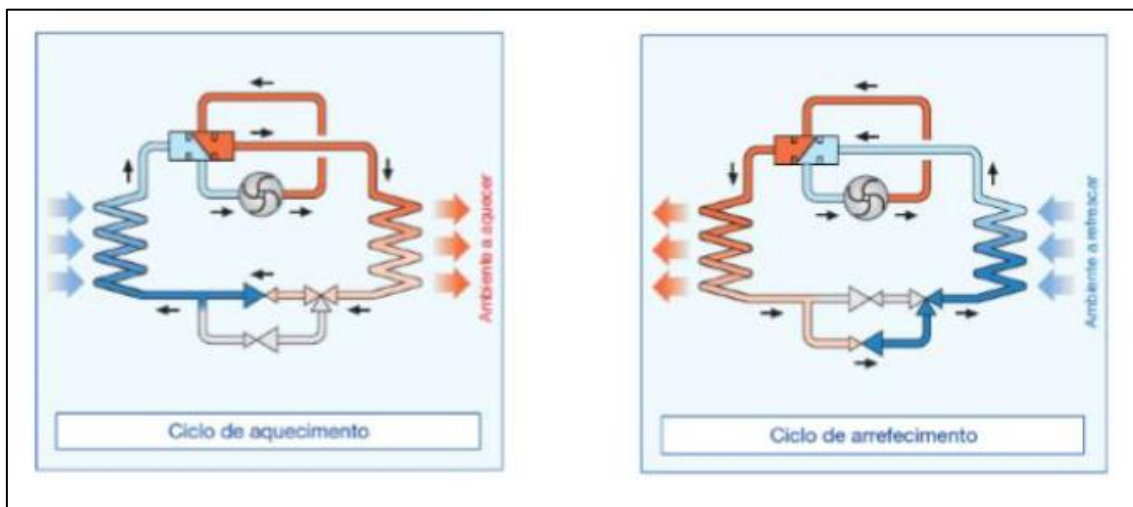


Figura 52 – Ciclos de aquecimento e arrefecimento. Fonte: Como escolher uma bomba de calor, Ariston

O funcionamento de uma bomba de calor é regido pelos princípios básicos da termodinâmica, mais concretamente pelo ciclo termodinâmico proposto por Sadi Carnot em 1824, conhecido como o ciclo de Carnot.

Este ciclo traça os limites superiores de eficiência que uma máquina térmica tradicional pode atingir durante o processo de conversão de calor em trabalho.

Para o caso das bombas de calor, este ciclo traduz a eficiência do sistema em criar uma diferença de temperatura entre dois pontos através da aplicação de trabalho. Segundo as leis da natureza, a transmissão de calor efetua-se sempre da fonte quente para a fonte fria. A aplicação de trabalho no sistema permite contrariar este acontecimento, sendo possível transferir calor de uma fonte fria para uma fonte quente.

Este trabalho pode ser determinado de acordo com a seguinte equação:

$$W = Q_2 - Q_1 \quad (11)$$

Onde W equivale ao trabalho realizado pelo sistema, Q_2 equivale à energia necessária de arrefecimento ou aquecimento e Q_1 equivale à energia aproveitada da fonte exterior.

A eficiência do sistema (η) pode ser traduzida como o rácio entre a energia necessária e o trabalho realizado:

$$\eta = \frac{Q_2}{W} \quad (12)$$

Um outro parâmetro que avalia a eficiência de uma bomba de calor é o coeficiente de performance ou COP. Este coeficiente representa a relação entre a energia consumida pela bomba de calor e a energia fornecida pela mesma. Devido à elevada eficiência destes equipamentos, é espectável que o valor do COP seja acima da unidade. Isto significa que uma bomba de calor produz mais energia do que aquela que é consumida.

5.5.3 Ar como fonte de calor

O ar atmosférico representa a fonte de calor mais utilizada por esta tecnologia. Dentro desta categoria, distinguem-se as bombas do tipo ar-ar e ar-água.

As bombas de calor ar-ar transferem o calor extraído do ar exterior para o ar interior, tendo como principal função a climatização de ar dos espaços interiores. Esta característica distingue as bombas de calor dos típicos aparelhos de ar condicionado, que apenas retiram o calor do ar interior e o transferem para o exterior, fazendo deles apenas aparelhos de refrigeração. Este processo torna-se possível devido a uma válvula reversível instalada na unidade exterior, absorvendo o calor do ar exterior mesmo a baixas temperaturas. Estima-se que o ar a uma temperatura de -18°C contém cerca de 85% do calor contido no ar a 21°C , viabilizando o aquecimento mesmo nos invernos mais rigorosos [21]. Assim sendo,

considera-se que uma bomba de calor pode climatizar o espaço interior em qualquer estação do ano, mas um aparelho de ar condicionado apenas consegue aquecer o espaço interior, pelo que esta será a maior vantagem das bombas de calor comparativamente aos aparelhos de ar condicionado.

As bombas de calor a ar-água utilizam igualmente o ar exterior como fonte de calor, porém, este calor é agora transferido para um fluido, tipicamente água. Tal como as bombas de calor a ar-ar, esta solução é utilizada para climatização de espaços interiores, porém associada a outro tipo de sistemas. O fluido aquecido pode ser utilizado em circuitos de aquecimento como pavimentos radiantes hidráulicos e radiadores, tal como para a produção de AQS. Além do ar atmosférico, as bombas de calor podem utilizar o calor de outras fontes como gases de exaustão, ar aquecido pela radiação solar ou por um circuito geotérmico.

5.5.4 Fluido como fonte de calor

Para além do ar, as bombas de calor podem utilizar um fluido como fonte de calor. Esta categoria de bombas de calor necessita de uma instalação secundária que contenha o fluido e o mantenha à temperatura de operação da bomba de calor. As instalações mais utilizadas para este tipo de bombas de calor são as instalações solares térmicas e instalações geotérmicas.

No caso de uma bomba de calor assistida por coletores solares térmicos, o fluido pré-aquecido pelos coletores é utilizado como fonte de calor, fornecendo ao sistema parte da energia necessária para o aquecimento de água. Este incremento de energia permite um aumento do coeficiente de performance tal como a produção de energia duma maneira mais eficiente e menos dispendiosa a nível monetário devido ao baixo consumo elétrico. No entanto, devido à radiação solar, os coletores solares funcionam como fonte de calor durante todo o ano, inviabilizando a bomba de calor de funcionar no modo de refrigeração. Assim sendo, esta configuração é apenas utilizada para o processo de aquecimento, seja ele para climatização ou para águas quentes sanitárias.

No caso de uma bomba de calor assistida por um circuito geotérmico, a constante temperatura do subsolo é utilizada como fonte de calor pela bomba de calor. Esta temperatura constante permite à bomba de calor operar no modo de aquecimento durante a estação fria e no modo de arrefecimento durante a estação quente. Em climas extremos esta solução apresenta uma melhor eficiência quando comparada com os sistemas anteriores. É, no entanto, necessário garantir que o circuito geotérmico encontra-se a uma profundidade suficiente que garanta uma temperatura constante do subsolo à sua volta.

Devido ao processo de instalação do circuito geotérmico, este tipo de sistemas possuem um custo elevado.

5.6 Instalação geotérmica

Uma instalação geotérmica refere-se à instalação de condutas abaixo da superfície terrestre com o intuito de utilizar a temperatura quase constante do subsolo como permutador de calor. Esta solução permite a climatização de espaços interiores devido à diferença de temperaturas entre os dois ambientes, seja na estação quente ou na estação fria, como ilustrado na figura 53. Este tipo de sistema pode também ser utilizado para a produção de AQS. É de salientar que ambos os processos são reversíveis, ou seja, tanto é possível aquecer o fluido como arrefecê-lo. Esta inversão do sistema terá mais interesse no caso da climatização, sendo útil na mudança de estação. No caso de produção de águas quentes, é esperado que este sistema funcione sempre no mesmo ciclo que é aproveitar o calor geotérmico e transferi-lo para o interior do edifício.

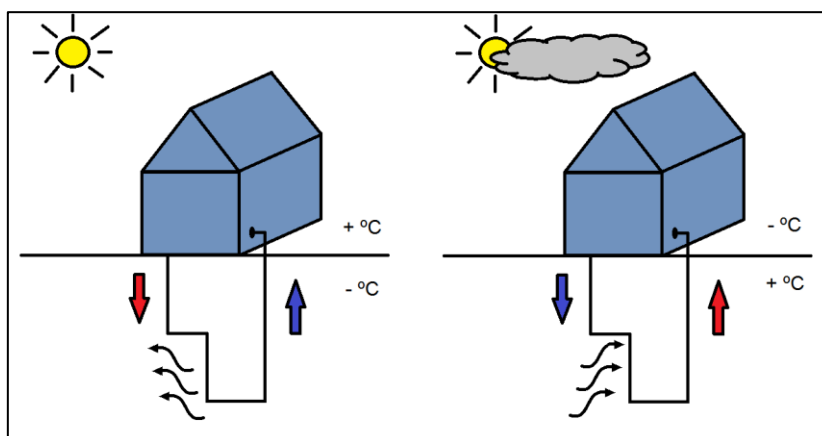


Figura 53 - Funcionamento de uma instalação geotérmica na estação quente (esquerda) e estação fria (direita).
Fonte: Autoria do autor

Existem, porém, alguns parâmetros a ter em conta para a instalação e bom funcionamento deste tipo de sistemas:

- Profundidade do circuito;
- Dimensão do espaço onde o circuito vai ser instalado;
- A composição do subsolo;
- Existência de lençóis de água;
- Existência de canalização.

5.6.1 Tipos de circuitos

Existem três tipos generalizados de circuitos geotérmicos: circuito vertical, circuito horizontal e circuito em massa de água.

O circuito vertical, ilustrado na figura 54, dispõe as condutas de transporte do fluido da instalação na posição vertical. Esta disposição garante uma maior eficiência do sistema, uma vez que o aumento da profundidade se traduz numa menor variação de temperatura do subsolo ao longo do ano. No entanto, os custos de instalação serão maiores devido ao processo de perfuração do subsolo (entre 15m e 120m).

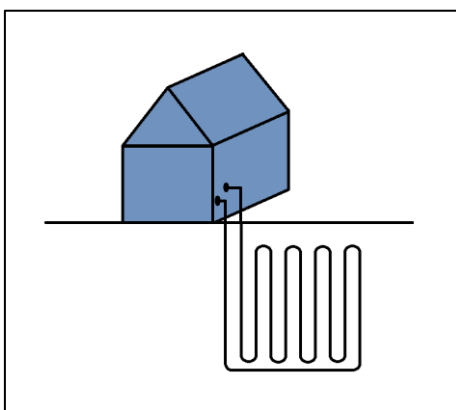


Figura 54 - Circuito geotérmico vertical. Fonte: Autoria do autor

O circuito horizontal, ilustrado na figura 55, dispõe a instalação das condutas de circulação numa posição horizontal. Uma vez que se encontra a pouca profundidade (entre 1m a 1,50m), o circuito torna-se sensível às variações de temperatura ambiente à superfície. Por um lado, o circuito tem a capacidade de absorver a energia térmica irradiada pelo sol, sendo um ganho significativo para o aquecimento de águas quentes sanitárias. Porém, a baixas temperaturas o circuito pode não conseguir armazenar a energia suficiente para desempenhar a devida tarefa, pelo que terão de ser utilizadas outras soluções. Em comparação aos circuitos verticais, o custo de instalação será muito menor.

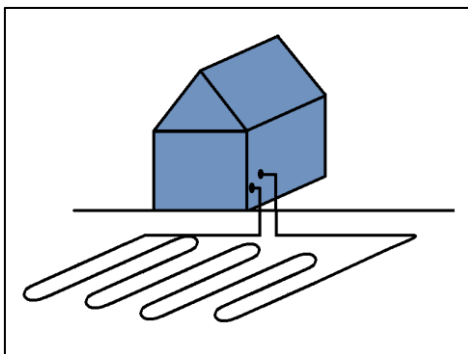


Figura 55 - Circuito geotérmico horizontal. Fonte: Aatoria do autor

O circuito geotérmico em massa de água, ilustrado na figura 56, trata-se de um sistema geotérmico que utiliza uma massa de água para a permutação de calor. Esta massa de água trata-se tipicamente de um pequeno lago, natural ou artificial e que se situa ao nível da superfície. Este tipo de sistema não deve ser utilizado em locais cujas temperaturas atinjam as temperaturas negativas, uma vez que resultaria no congelamento da massa de água e do fluido de circulação. Em termos de custos de instalação, este sistema terá um custo mais baixo comparando com os dois sistemas anteriores, uma vez que não necessita da abertura de furos para a instalação do circuito geotérmico.

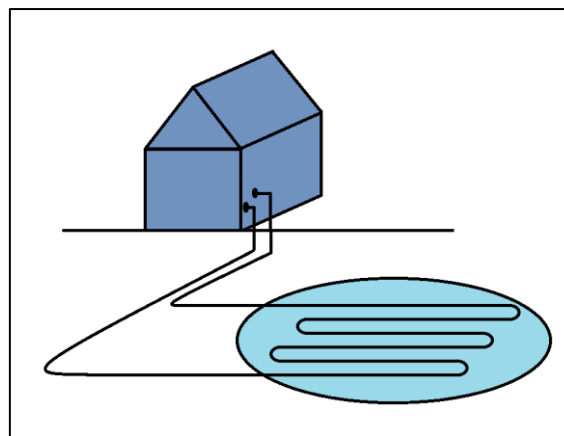


Figura 56 - Circuito geotérmico em massa de água. Fonte: Aatoria do autor

5.6.2 Componentes

Um sistema geotérmico de uso doméstico é composto por diversos componentes, sendo destacados dois elementos: o circuito geotérmico e uma bomba de calor.

O circuito geotérmico é composto por condutas produzidas em polietileno de alta densidade, como ilustra a figura 57. Este material torna as condutas flexíveis, impermeáveis, inertes ao fluido que transportam e de baixo custo monetário. Além disso, os compostos químicos existentes no subsolo não causam o deterioramento deste material, algo que acontecia com condutas em metal. A vida útil deste componente pode chegar até aos 50 anos [22].



Figura 57 - Tubo para circuitos geotérmicos em poliestireno. Fonte: centennialplastics.com

A bomba de calor funciona como motor à transferência do calor absorvido pelo circuito geotérmico. Diferentes tipos de instalação requerem diferentes tipos de bombas de calor. Uma instalação geotérmica destinada ao aquecimento de águas quentes sanitárias necessita de uma bomba de calor que realize a transferência de calor para esse fluido. O mesmo acontece se a finalidade for apenas para aquecimento de ar. Este trata-se do único requisito para a escolha da bomba de calor, uma vez que esta tecnologia não faz distinção de qual a origem do fluido pré-aquecido. Existem outros componentes que asseguram a segurança da instalação como válvulas de expansão e torneiras de segurança.

Capítulo 6 – Caso de estudo

6.1 Introdução

Neste capítulo será realizado um estudo à eficiência energética de um edifício de habitação. Será realizada uma descrição de alguns dos parâmetros estudados nos capítulos anteriores tais como a forma, a localização e a orientação. Em seguida serão descritos os elementos constituintes e sistemas presentes no edifício, realizando uma avaliação no contexto da eficiência energética. São então propostas algumas alterações com vista ao melhoramento da eficiência energética do edifício. Estas propostas poderão implicar o melhoramento de alguns elementos já existentes ou a substituição integral por um outro sistema distinto.

De maneira a facilitar o dimensionamento dos diversos sistemas, foi criado um modelo em três dimensões do edifício em estudo utilizando o software de CAD 3D *SolidWorks*. Este modelo foi criado utilizando as medidas reais do edifício, sendo um modelo à escala real do caso de estudo.

Em relação à simulação de ganhos solares, foi utilizado o software SolTerm, uma ferramenta que permite contabilizar a produção de energia via solar térmico e solar fotovoltaico. Os sistemas dimensionados para estas duas vertentes serão baseados nos resultados obtidos por esta ferramenta.

6.2 Descrição do Edifício

6.2.1 Forma

O edifício em estudo trata-se de uma moradia unifamiliar, composta por piso térreo e um primeiro andar localizado na ala sul do edifício. A figura 58 ilustra o edifício em perspetiva.

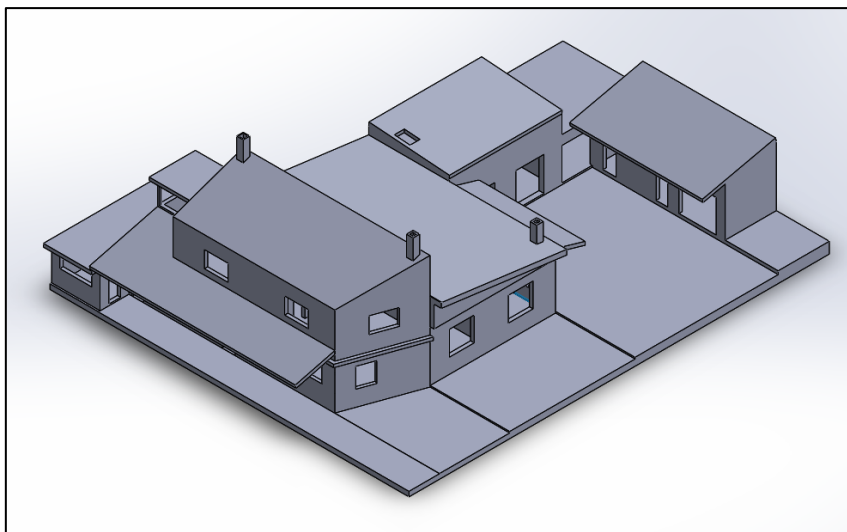


Figura 58 – Edifício em estudo. Fonte: Autoria do autor

O edifício possui dez espaços interiores climatizados, podendo-se numerar entre eles cinco quartos, dois espaços comuns, duas cozinhas e três casas-de-banho. Adjacentes ao edifício estão também cinco espaços não climatizados, entre eles uma casa-de-banho, uma sala comum, um ginásio, uma oficina e uma sala de arrumos que também acomoda o sistema de bombagem da piscina.

Calculando o fator de forma do edifício, este possui o seguinte valor:

$$FF = \frac{\text{Superfície exterior}}{\text{Volume interior}} = 0,3 \quad (13)$$

Um baixo valor de fator de forma indicia que o edifício possui uma baixa transferência de calor entre o espaço interior e o exterior. Isto deve-se ao facto de o edifício possuir algumas paredes em contacto com outros espaços interiores, como é o caso da ala oeste que está na sua totalidade em contacto com um outro edifício (edifício esse que está omitido no modelo elaborado).

6.2.2 Localização

O edifício em estudo encontra-se situado em Portugal, mais concretamente no concelho do Seixal, distrito de Setúbal, sendo esta localização descrita na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) como a Península de Setúbal.

As zonas climáticas correspondentes a esta localização são I1 para a zona climática de inverno e V3 para a zona climática de verão. Na figura 59 encontra-se marcado com um círculo vermelho a localização do edifício nos dois mapas climáticos referentes ao território português.

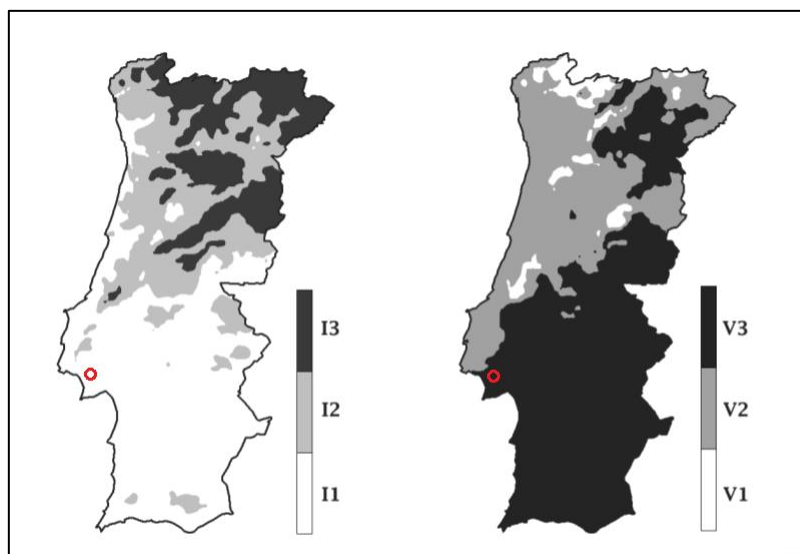


Figura 59 - Localização do edifício nos dois mapas climáticos. Fonte: Adaptado de RCCTE

6.2.3 Orientação

O edifício em estudo possui fachadas direcionadas a norte, sul e este, sendo que a oeste encontra-se adjacente a um outro edifício. No entanto o edifício não se encontra totalmente alinhado com os pontos cardeais, sendo necessário considerar o desvio de maneira a obter resultados mais realistas. Este desvio, ilustrado na figura 60, possui um valor de 27° tendo como referência o ponto cardinal sul.

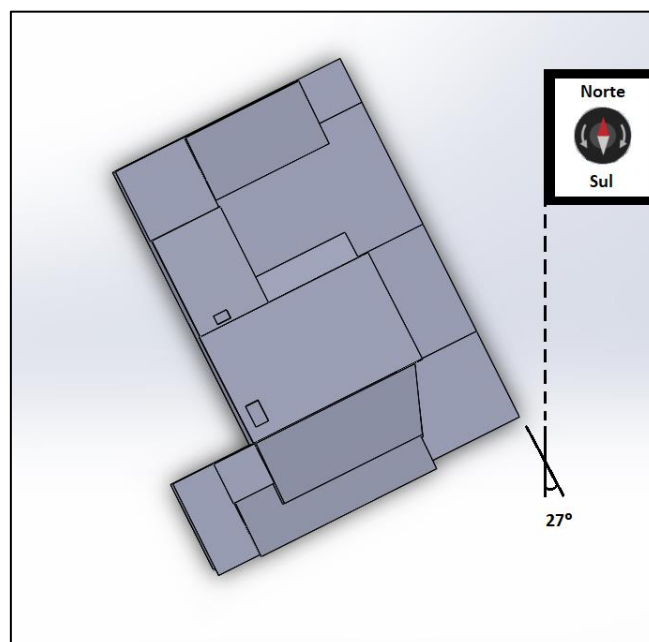


Figura 60 - Orientação azimutal do edifício. Fonte: Autoria do autor

6.3 Soluções Existentes

Uma vez que se trata de um edifício já existente, existem já soluções implementadas para cada necessidade básica. Serão descritas a pormenor estas soluções numa tentativa de entender o seu desempenho energético, comparando com os valores estipulados pela legislação atual.

6.3.1 Paredes de envolvente exterior

A nível de paredes em contacto com o exterior, o edifício é composto por parede simples (reboco de cimento pelo interior, tijolo e reboco de cimento pelo exterior) e sem qualquer tipo de isolamento.

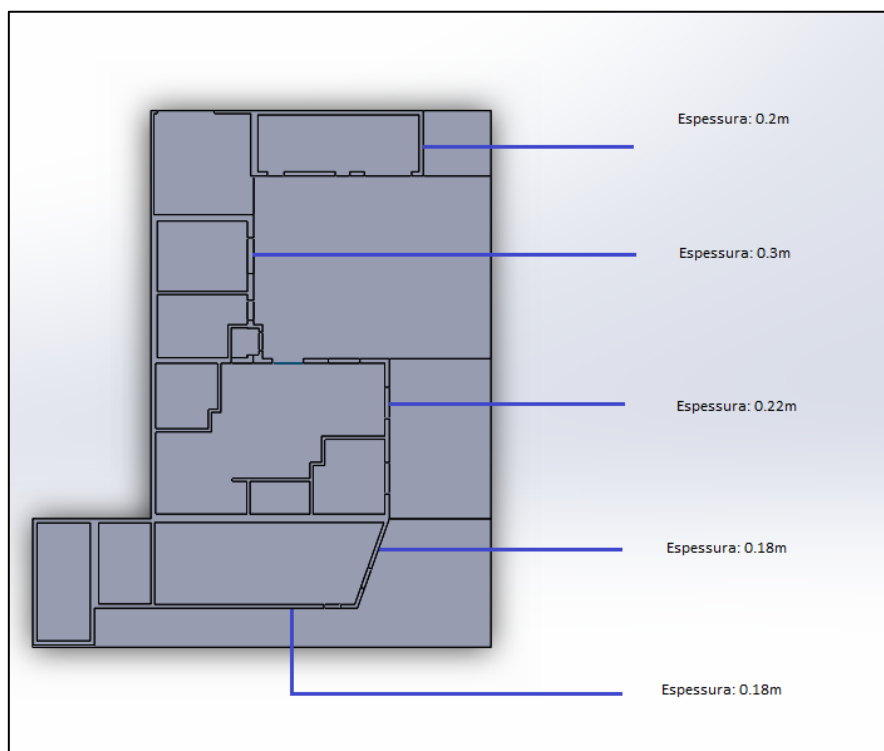


Figura 61 - Espessura de parede do piso inferior. Fonte: Autoria do autor

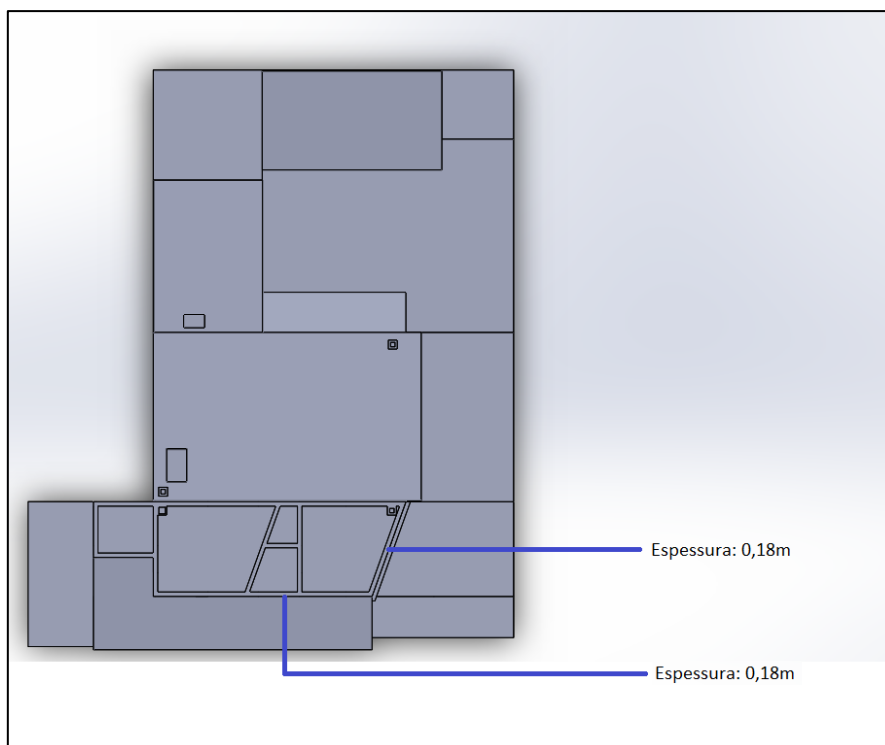


Figura 62 - Espessura de parede do piso superior. Fonte: Autoria do autor

Nas figuras 61 e 62 é possível verificar que existem diferenças nas espessuras das paredes do edifício. Isto deve-se ao facto de o edifício ter sido construído faseadamente, em diferentes anos e por entidades distintas. A espessura de parede num determinado local terá o valor que seria imposto pela legislação no ano de construção, o que justifica diferentes valores de espessura. Esta constituição oferece os coeficientes de transmissão térmica apresentados na tabela 12. É possível verificar que os valores obtidos para o coeficiente de transmissão térmica estão acima do recomendado pela legislação.

Tabela 12 - Valores de espessuras e coeficientes de transmissão térmica das paredes existentes

Parede	Espessura da parede (m)	Espessura do tijolo (m)	Espessura do reboco (m)	Coeficiente de transmissão térmica U ($W/m^2\text{°C}$)
A	0,18	0,15	0,03	1,76
B	0,22	0,15	0,07	1,70
C	0,30	0,15	0,15	1,58

Uma vez que os valores do coeficiente de transmissão térmica estão acima do valor estipulado pela legislação, será necessário proceder a uma intervenção nestes elementos.

6.3.2 Coberturas

O edifício em estudo possui diversas coberturas, sendo classificadas como coberturas planas de apenas uma água. Esta são constituídas por telhas portuguesas e estão assentes sobre vigas de betão embutidas no edifício. As coberturas possuem orientações e inclinações distintas, sendo necessário estudar qual ou quais serão as coberturas com melhor captação solar de maneira a obter um melhor rendimento na instalação solar térmica e fotovoltaica.

Para o projeto solar, a orientação mais favorável à captação solar será a orientação segundo o ponto cardeal sul, que corresponde ao azimute solar. A figura 63 ilustra as duas coberturas que possuem a orientação mais próxima do azimute solar, existindo um certo desvio já identificado anteriormente de cerca de 27° . Outro parâmetro indicado na figura 63 é o valor da inclinação de cada cobertura.

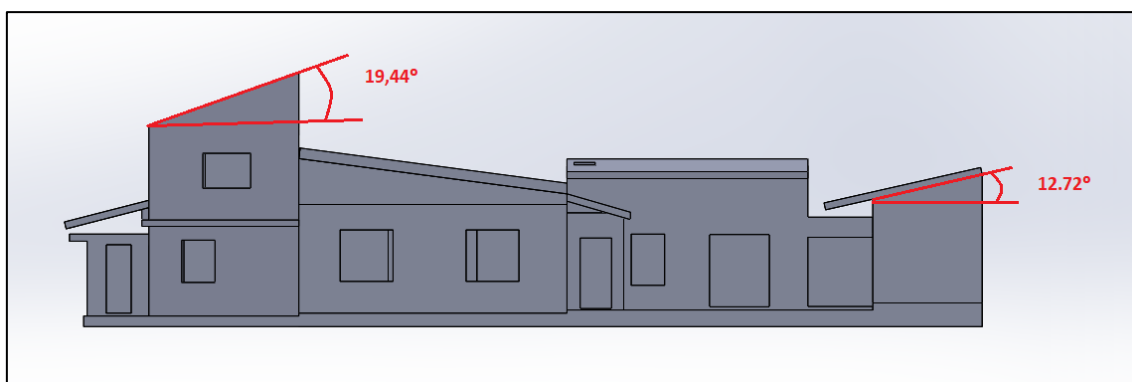


Figura 63 - Inclinação das coberturas destinadas à implantação solar térmica e fotovoltaica. Fonte: Autoria do autor

Uma possível modificação associada às coberturas seria a modificação da sua inclinação referente ao plano horizontal. Porém isto implicaria a reestruturação do edifício, algo que não é considerado neste projeto. Como tal, não serão propostas intervenções às coberturas do edifício em estudo.

6.3.3 Vãos

Os vão em estudo correspondem às janelas e portas com acesso para o exterior do edifício. É apresentada a tabela 13 com os distintos elementos, o tipo de abertura (porta, janela ou porta de vidro), a descrição do tipo de envidraçado, o tipo de caixilharia, a sua orientação e se está localizado numa zona climatizada. No caso de o elemento não possuir alguma característica descrita, é apresentada a abreviatura N.A (Não Aplicável). Os

elementos referidos na tabela encontram-se ilustrados nas figuras 64 a 70 presentes no final deste subcapítulo.

Tabela 13 - Descrição dos vãos do edifício

Elemento	Tipo	Tipo de envidraçado	Caixilharia	Orientação	Dimensões (m)	Espaço climatizado
A	Porta	NA	Alumínio	Este	1,94x0,71	Não
B	Janela	Simples	Alumínio	Este	0,99x1,44	Sim
C	Janela	Simples	Alumínio	Este	1,20x1,00	Sim
D	Janela	Simples	Alumínio	Este	1,46x1,50	Sim
E	Janela	Simples	Alumínio	Este	1,46x1,50	Sim
F	Porta	NA	Alumínio	Este	2,00x0,89	Sim
G	Janela	Duplo	Alumínio com corte térmico	Este	1,45x0,95	Sim
H	Porta de vidro	Duplo	Alumínio com corte térmico	Este	2,05x1,70	Sim
I		Duplo	Alumínio com corte térmico	Este	1,96x1,87	Sim
J	Portão	NA	Chapa metálica	Norte	2,25x2,07	Não
K	Janela	Simples	Alumínio	Norte	1,45x1,50	Sim
L	Porta de vidro	Simples	Alumínio	Norte	2,08x1,48	Sim
M	Janela	Duplo	Alumínio com corte térmico	Oeste	1,19x2,20	Sim
N	Janela	Simples	Alumínio	Sul	0,99x1,93	Não
O	Porta de vidro	Simples	Alumínio	Sul	2,20x0,68	Sim
P	Janela	Simples	Alumínio	Sul	1,20x2,00	Sim
Q	Janela	Simples	Alumínio	Sul	0,95x0,93	Sim
R	Porta	NA	Alumínio	Sul	2,00x0,79	Sim
S	Janela	Simples	Alumínio	Sul	1,00x0,80	Sim
T	Janela	Simples	Alumínio	Sul	0,98x0,83	Sim
U	Janela	Duplo	Alumínio com corte térmico	Sul	1,93x2,48	Sim
V	Janela	Simples	Alumínio	Sul	0,99x1,43	Sim
X	Janela	Simples	Alumínio	Sul	0,99x1,15	Sim
Y	Porta	NA	Alumínio	Sul	1,96x0,79	Não
W	Porta de vidro	Simples	Alumínio	Sul	1,96x0,70	Não
Z	Porta de vidro	Simples	Alumínio	Sul	1,96x2,25	Não
AA	Janela	Simples	Alumínio	Horizontal	0,90x1,50	Sim
AB	Janela	Duplo	Alumínio com corte térmico	Horizontal	0,95x0,60	Sim

Verifica-se que grande parte dos vãos envidraçados são constituídos por vidro simples, caixilharia em alumínio e do tipo janela de correr. Trata-se de vãos que foram

instalados no momento de construção do edifício. Alguns destes elementos possuem mais de duas décadas de existência, sendo que carecem das características isolantes presentes nos materiais mais modernos. De acordo com o ITE50 [5], estes vãos envidraçados são classificados como “Vãos Envidraçados Verticais com Caixilharia Metálica Sem Corte Térmico, Envidraçado Simples, Vidro Simples, Tipo de Janela de Correr, com Dispositivo de Oclusa Noturna com Elevada Permeabilidade ao Ar”. Este tipo de vão possui um coeficiente de transmissão térmica no valor de $4,8 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Este valor encontra-se acima do valor estipulado pela legislação ($U = 2,80 \text{ W/m}^2\text{°C}$) [3], pelo que será necessária a intervenção e substituição dos elementos em questão.

Os restantes vãos envidraçados foram instalados durante uma obra realizada para a ampliação do edifício. Por terem sido instalados num período mais recente, possuem os requisitos atuais tais como vidro duplo e caixilharia com corte térmico. De acordo com o ITE50 este conjunto de vãos envidraçados pode ser classificado como “Vãos Envidraçados Verticais com Caixilharia Metálica com Corte Térmico, Envidraçado Simples, Vidro Duplo, Tipo de Janela de Batente, com 16mm de espessura de lâmina de ar e Dispositivo de Oclusa Noturna com Elevada Permeabilidade ao Ar”. A esta configuração é atribuído um coeficiente de transmissão térmica de $2,8 \text{ W/m}^2\text{°C}$, que corresponde ao valor limite estipulado pela legislação portuguesa para vãos envidraçados localizados na zona climática I1 [3].

Em relação aos vãos opacos (portas), existem dois destes elementos que estão em contacto com zonas interiores climatizadas. Em termos de comportamento térmico, faz-se referência ao elemento R, descrito na tabela 13 e ilustrado na figura 68. Este elemento, tal como os vãos envidraçados sujeitos a intervenção, foi instalado no período de construção do edifício, sendo que carece das características de isolamento térmico e estanquicidade do ar. Como tal, de maneira a reduzir as perdas de calor pelos vãos existentes, é solicitada a intervenção neste vão opaco.

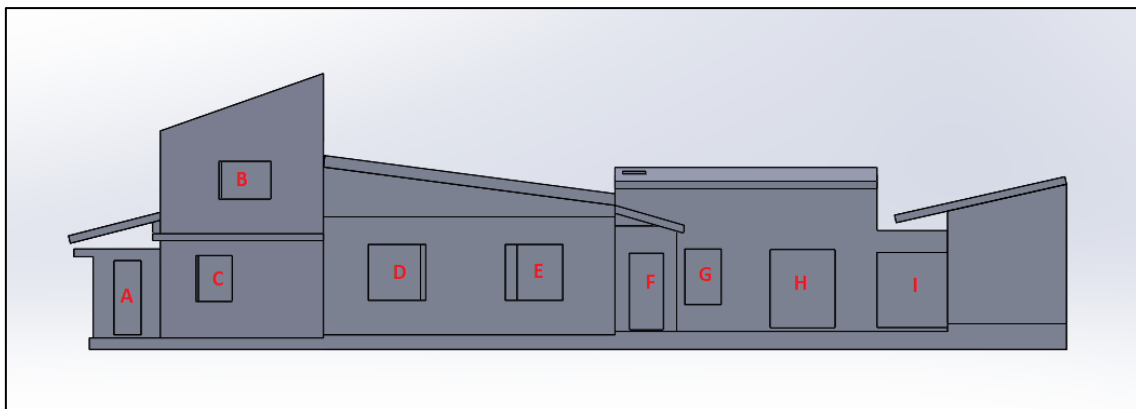


Figura 64 - Vista direcionada a Este. Fonte: Autoria do autor

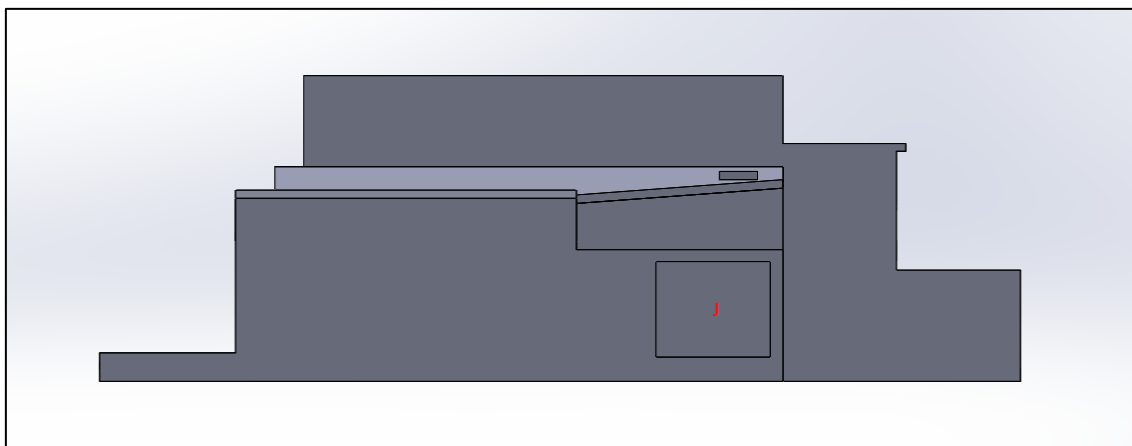


Figura 65 - Vista direcionada a Norte. Fonte: Autoria do autor

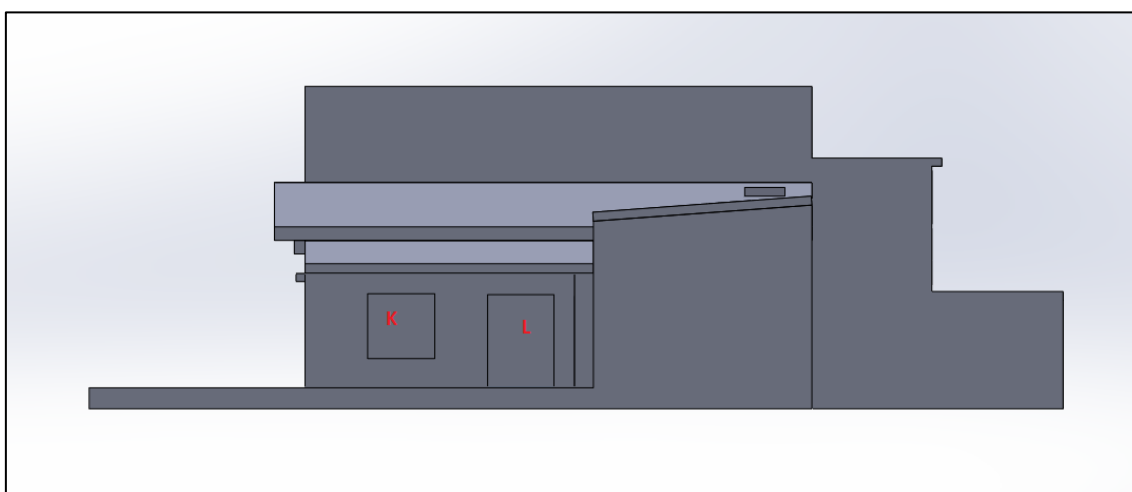


Figura 66 - Vista direcionada a Norte em corte, de maneira a ser visível os vãos K e L. Fonte: Autoria do autor

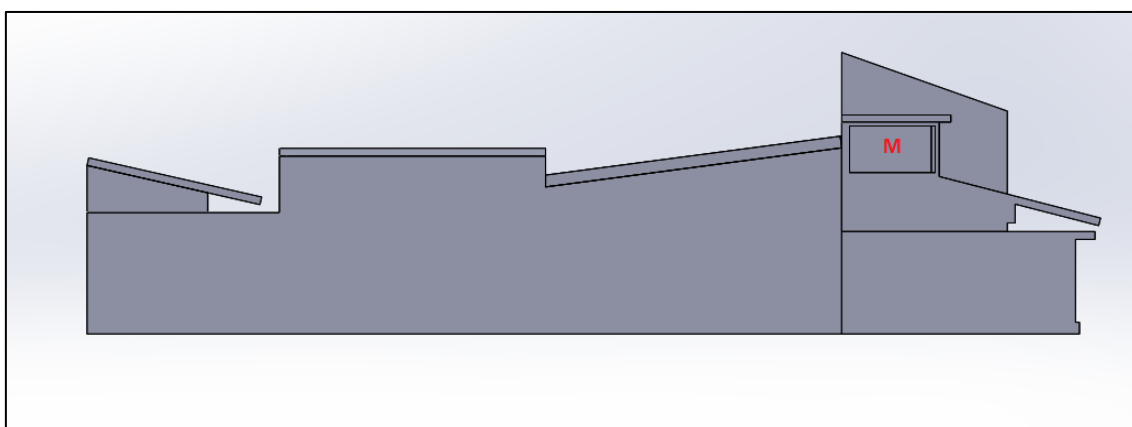


Figura 67 - Vista direcionada a Oeste. Fonte: Autoria do autor

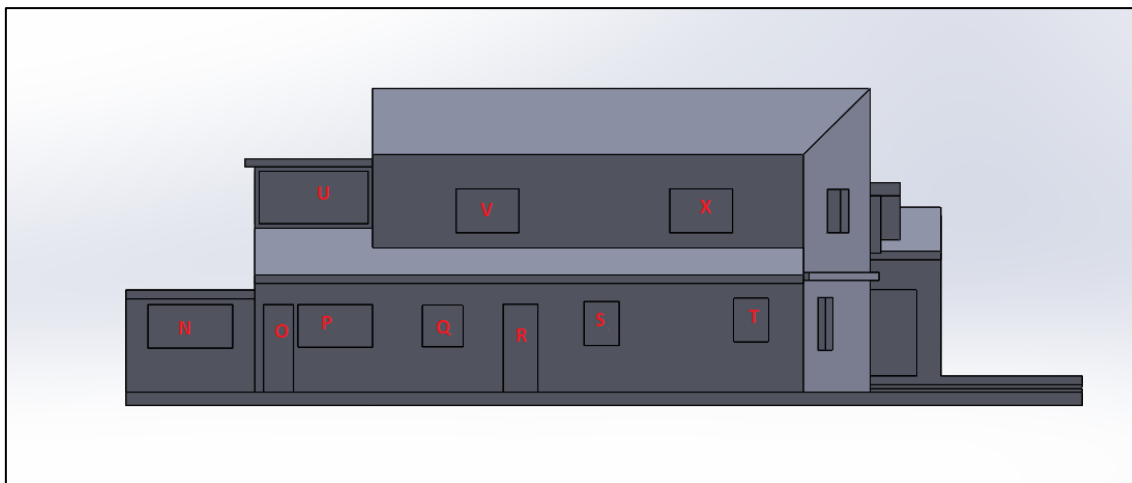


Figura 68 - Vista direcionada a Sul. Fonte: Autoria do autor

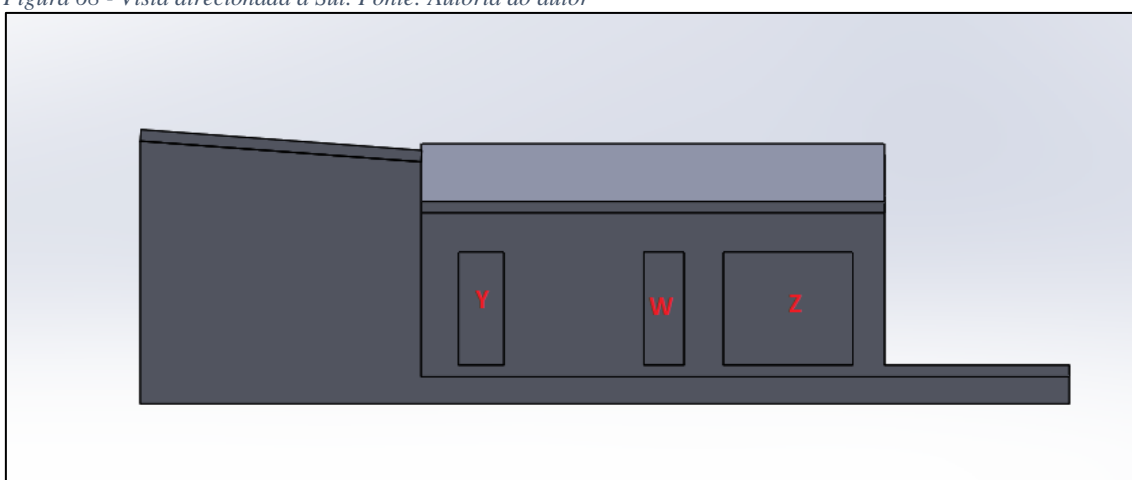


Figura 69 - Vista direcionada a Sul em corte, de maneira a ser visíveis os vãos Y, W e Z. Fonte: Autoria do autor

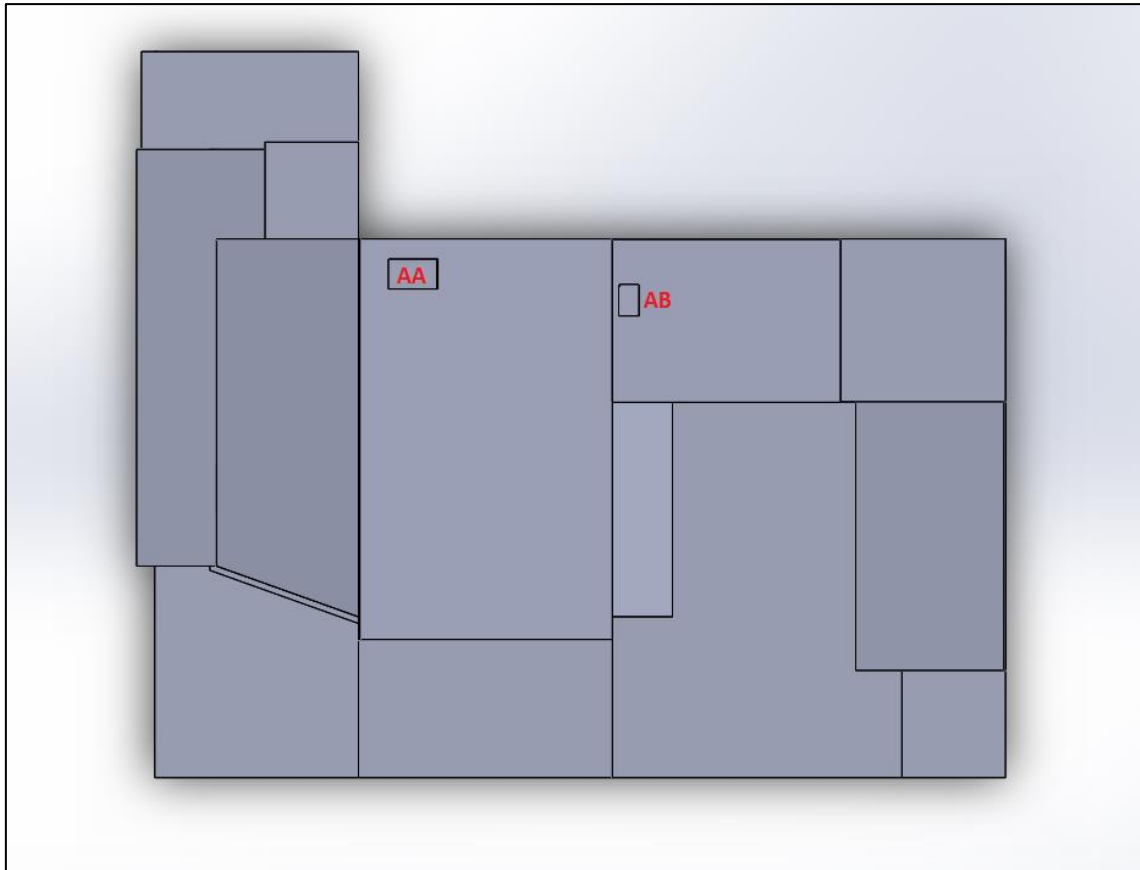


Figura 70 - Vista em planta. Fonte: Autoria do autor

6.3.4 Ventilação

A ventilação do edifício é efetuada através de ventilação natural e ventilação mecânica. A abertura de janelas, tal como a presença de chaminés conferem as renovações de ar necessárias para a manutenção da qualidade do ar no interior do edifício. Existem também dispositivos que aumentam o volume de ar retirado do interior do edifício, como é o caso dos exaustores instalados nas cozinhas e numa das casas de banho.

Existem ao todo quatro chaminés, todas elas conectadas ao espaço interior, mais concretamente no piso térreo. Estas chaminés foram construídas com duas funções em mente: exaustão de gases de combustão derivados da queima de biomassa (lareiras e salamandras) e exaustão de gases provenientes da confeção de alimentos.

As chaminés destinadas à exaustão de gases de combustão estão representadas pela figura 71 e figura 72 e situam-se localizadas nas duas zonas comuns.



Figura 71 - Chaminé de extração de gases de combustão. Fonte: Autoria do autor



Figura 72 - Chaminé de extração de gases de combustão. Fonte: Autoria do autor

As chaminés destinadas à extração de gases provenientes da confeção de alimentos, representadas pela figura 73 e figura 74, situam-se nas cozinhas e estão adaptadas com sistemas de ventilação mecânica (exaustores).



Figura 73 - Chaminé para exaustão de gases de cozinha. Fonte: Autoria do autor



Figura 74 - Chaminé para exaustão de gases de cozinha. Fonte: Autoria do autor

Ambas as chaminés de exaustão de gases de combustão necessitam de intervenção, no entanto, devido a razões distintas. A chaminé ilustrada na figura 71 não possui qualquer proteção contra o vento ou a chuva enquanto que a chaminé ilustrada na figura 72 não possui qualquer sistema de aquecimento acoplado, sendo uma fonte de perdas de calor por convecção. Ambos os casos requerem intervenção com fim a melhorar o desempenho e reduzir as perdas de calor.

6.3.5 Climatização

Dependendo da estação do ano, a climatização do edifício é realizada por diferentes intervenientes. Durante a estação fria, o espaço interior é climatizado através da queima de biomassa. O processo de combustão da biomassa realiza-se no interior de uma

salamandra a lenha, ilustrada na figura 75, e que se encontra instalada na zona comum. A exaustão dos gases de combustão é realizada através da chaminé ilustrada na figura 71.



Figura 75 - Salamandra a biomassa. Fonte: Autoria do autor

Esta salamandra encontra-se instalada junto a duas paredes em contacto com o exterior, uma prática pouco recomendada. Visto a impossibilidade de alterar a localização deste elemento, foi realizado um reforço nas paredes através da aplicação de uma camada composta por tijolo refratário como ilustrado na figura 76. Desta maneira foi possível diminuir as perdas de calor por transferência para o exterior.



Figura 76 - Camada adicional de tijolo refratário. Fonte: A autoria do autor

Outro tipo de dispositivo existente que também entrega calor para o interior do edifício são os aparelhos de ar condicionado, como ilustrado na figura 77. Existem ao todo três aparelhos deste tipo instalados no edifício, sendo que dois deles encontram-se instalados no interior de quartos e um terceiro está instalado num espaço comum.

Durante a estação quente, o espaço interior é climatizado recorrendo apenas aos aparelhos de ar condicionado anteriormente mencionados. É, no entanto, de salientar que a utilização destes aparelhos é feita esporadicamente, apenas em casos em que a salamandra a biomassa encontra-se inativa na estação fria ou durante picos de calor extremo durante a estação quente. Estes aparelhos são então considerados apenas auxiliares e não utilitários diários.



Figura 77 – Aparelho de ar condicionado localizado numa zona comum do edifício. Fonte: A autoria do autor

Existe ainda uma pequena marquise adjacente a um dos quartos localizados na ala sul do edifício, ilustrada na figura 78. Este elemento admite alguns ganhos solares para o interior do edifício através da entrada de radiação solar, climatizando a habitação durante a estação fria. Considerar-se esta divisão como sendo a que melhor uso dá à prática de captação solar passiva em todo o edifício.

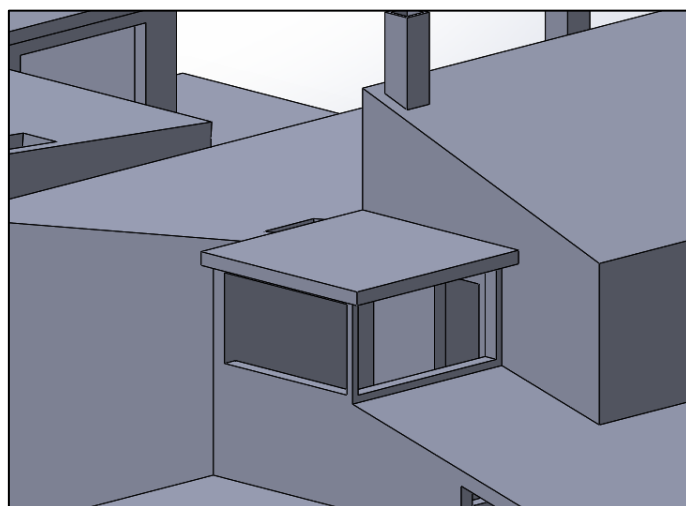


Figura 78 - Marquise orientada a sul. Fonte: A autoria do autor

6.3.6 AQS

O aquecimento de águas para uso doméstico é realizado através de esquentadores a gás. No edifício estão instalados dois esquentadores a gás, sendo o gás adquirido em botijas e fornecido individualmente a cada esquentador. A existência de vários esquentadores permite o fornecimento de água quente a vários pontos do edifício ao mesmo tempo, algo impraticável a um esquentador apenas. Esta solução permite a produção instantânea de AQS, não sendo necessário qualquer tipo de armazenamento. Por questões relacionadas com a redução no consumo de combustíveis de origem fóssil,

será dimensionado um outro sistema de obtenção de águas quentes sanitárias que substitua os esquentadores a gás.

6.2.7 Iluminação

Uma medida tomada referente à iluminação foi a substituição gradual das lâmpadas fluorescentes existentes por lâmpadas de baixo consumo (fluorescentes ou LED). Esta mudança foi possível devido à rápida comercialização e expansão no mercado, tal como a disponibilização destes produtos a preços acessíveis ao consumidor.

Em relação à racionalização da energia referente à iluminação, foi realizada a automatização de alguns pontos de luz no interior e exterior do edifício. Foram instalados sensores de movimento junto da entrada principal, que ao serem acionados iluminam a passagem e garantem a visibilidade durante o período noturno. Esta solução permite evitar a necessidade de acionamento de interruptores e o tempo perdido nessa ação, tal como redução do tempo de atividade luminosa, reduzindo os gastos com eletricidade.

Para este tópico não são previstas quaisquer intervenções nos sistemas instalados no edifício. No entanto, esta será uma das situações em que a aplicação de boas práticas de utilização podem levar a uma maior redução de custos relacionados com a iluminação.

6.4 Consumo Energético

De maneira a entender a escala do consumo praticada pelos habitantes do edifício em estudo, é realizado um resumo dos diversos tipos de consumo e quais os custos inerentes à sua aquisição. Os consumos praticados podem ser divididos em três categorias:

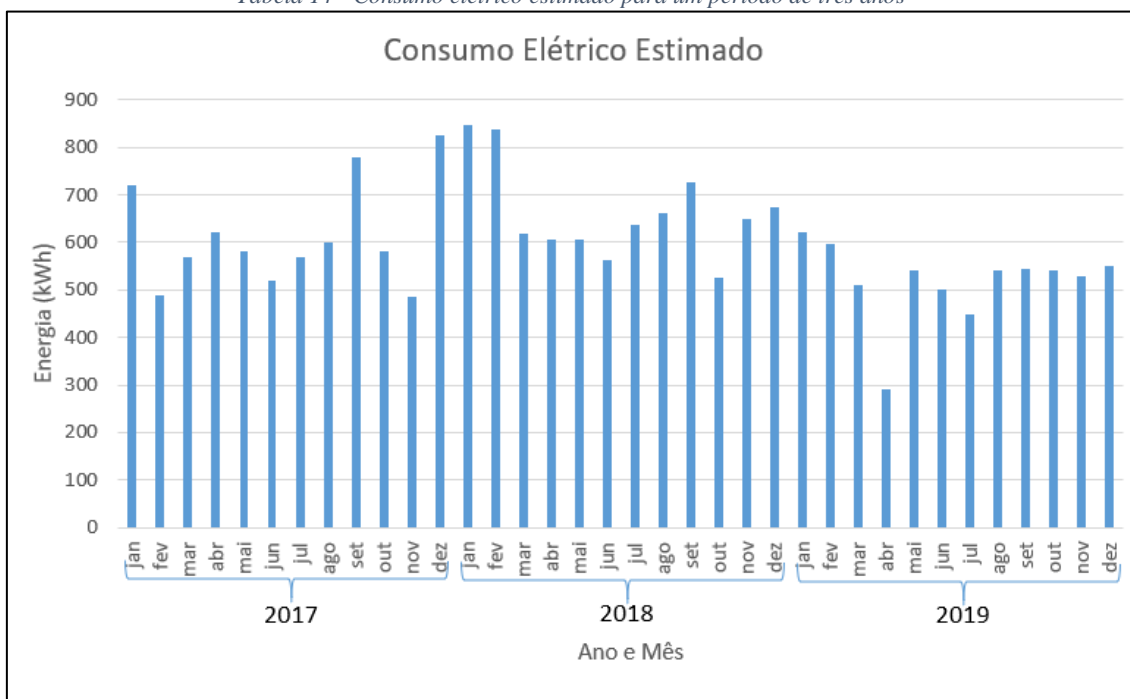
- Consumo de energia elétrica;
- Consumo de gás;
- Consumo de biomassa.

6.4.1 Consumo elétrico

A empresa distribuidora de energia (Endesa) realiza leituras ao consumo do cliente durante um determinado período, sendo este valor considerado como valor real. No entanto, nem todos os valores apresentados são valores reais, sendo que parte deles representam estimativas baseadas em leituras anteriores.

Com base nas faturas disponibilizadas pela empresa distribuidora de energia, foi feito um apanhado dos consumos ao longo de três anos, sendo os valores apresentados em forma de gráfico de barras como ilustrado na tabela 14.

Tabela 14 - Consumo elétrico estimado para um período de três anos



Numa tentativa de melhor entender a evolução dos consumos de eletricidade, são somados os consumos de cada mês e comparados os valores referentes aos três anos em estudos. Na tabela 15 são apresentados os valores totais anuais de energia consumida e o valor médio mensal para cada ano.

Tabela 15 - Valores anuais e médias mensais

Ano	2017	2018	2019
Total anual [kWh]	7340	7950	5615
Média mensal [kWh]	611,7	662,5	510,5

Esta energia é utilizada maioritariamente para iluminação, conservação e confeção de alimentos, alimentação de eletrodomésticos e outros aparelhos eletrónicos. Apenas esporadicamente é utilizada energia elétrica para climatização do espaço interior.

Para contabilização dos custos, é necessário ter em conta quais as tarifas pagas pela energia consumida, tal como quais os horários a que estas são aplicadas. A figura 79 ilustra o ciclo contratado à empresa de distribuição, tal como os diferentes horários tendo em conta a estação do ano aplicada. Neste caso trata-se de um ciclo semanal que faz a distinção entre dias úteis, sábados e domingos. É possível verificar que é durante os dias úteis que existe um maior número de períodos (Vazio, Cheias e Pontas).

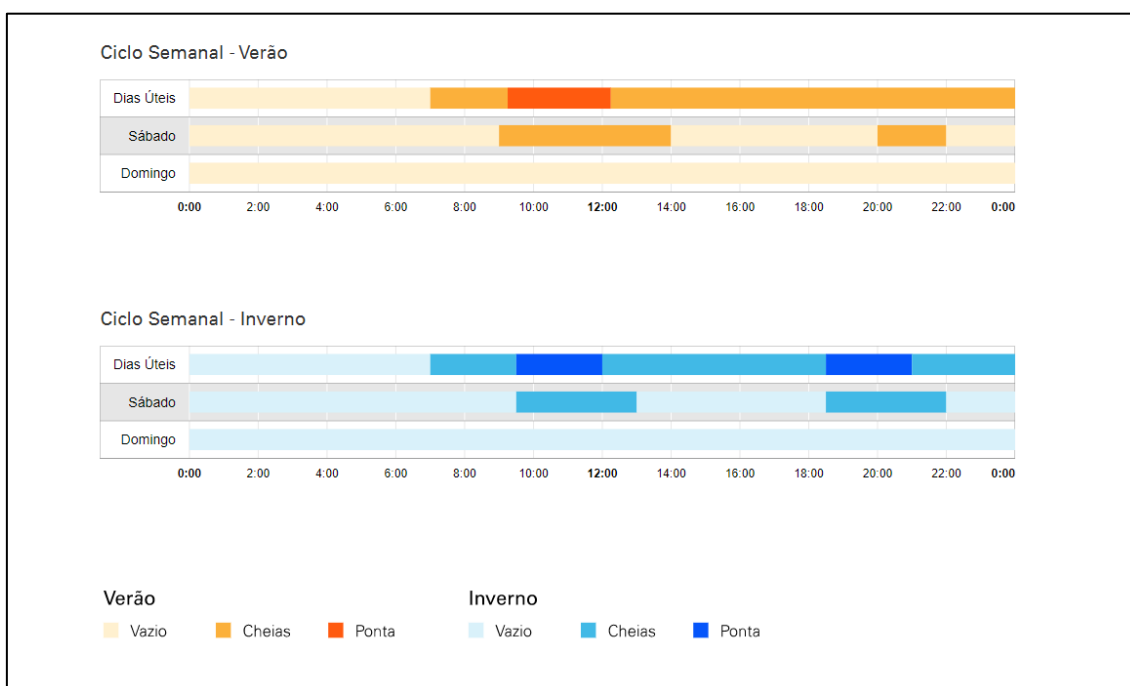


Figura 79 - Ciclo de energia contratado. Fonte: Endesa

Os preços praticados em cada período estão definidos na tabela 16. Verifica-se que o valor praticado durante os períodos fora do vazio equivale ao dobro daquele praticado no vazio. Uma prática comum para a redução da fatura da energia passa por programar alguns dos consumos energéticos (máquinas de lavar, sistemas de aquecimento, etc.) para os períodos de vazio, reduzindo assim em metade o valor pago pela eletricidade.

Tabela 16 - Custos referentes ao ciclo de energia contratado

Período	Custo (€)
Vazio	0,093075
Fora do vazio (Cheias + Pontas)	0,185767

6.4.2 Consumo de gás

O gás representa outra fonte de energia utilizada por parte de alguns sistemas instalados no edifício em estudo, mais concretamente para a produção de AQS. O gás utilizado trata-se de gás butano e gás propano em botijas. Tipicamente estas botijas possuem uma massa de 10kg (botija + gás), sendo as mais pequenas da sua gama. O consumo de gás é influenciado pela estação do ano, sendo que durante a estação fria a necessidade de aquecimento de água é maior quando comparada com a estação quente. Na estação fria, são consumidas cerca de duas botijas de gás, o que perfaz o total de doze botijas durante os seis meses de estação fria. Na estação quente uma botija de gás perdura cerca de três semanas, não chegando a perfazer um mês completo. Para se poder comparar os consumos a nível mensal, determina-se que durante a estação quente são consumidas cerca de 1,33 botijas por mês, ou seja, um total de oito botijas durante os seis meses de estação quente. Ao todo, anualmente são consumidas cerca de vinte botijas de gás. A tabela 17 apresenta a estimativas de consumo de gás num determinado período do ano.

Tabela 17 – Número de botijas de gás consumidas em determinada época do ano

Meses	Número de botijas consumidas
Janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro, dezembro	12
Abril, maio, junho, julho, agosto, setembro	8
Total	20

Convertendo esta informação em custos monetários, cada botija possui um preço de 18,20 € o que origina um custo anual de 364 €. O custo por botija utilizado corresponde ao valor praticado no momento da realização deste projeto, contudo, este valor pode sofrer mudanças ao longo do tempo, o que irá alterar o custo anual.

Custo com Gás = 364 €/ano

Uma vez que se propõe à substituição desta fonte de energia por uma outra renovável, este valor irá servir como termo de comparação em relação aos consumos praticados pelo sistema de AQS proposto, isto ao fim de um determinado período.

6.4.3 Consumo de biomassa

A biomassa representa a única fonte de energia 100% renovável consumida no edifício em estudo. Esta fonte é utilizada exclusivamente para o aquecimento do espaço interior durante a estação fria. A biomassa consumida é maioritariamente constituída por madeira de sobreiro, obtida através de poda e adquirida a terceiros devidamente regularizados para a prática de corte e comercialização de biomassa. Existe, porém, uma pequena parte de biomassa consumida que advém de podas realizadas a árvores nas imediações do edifício e pedaços de madeira derivados de objetos em fim de vida. Uma vez que o consumo de biomassa efetua-se exclusivamente para aquecimento, este apenas acontece durante a estação fria.

As informações referentes à massa de biomassa que é consumida no edifício podem ser consultadas na tabela 18.

Tabela 18 - Massa de biomassa consumida

	Biomassa (kg)
Consumo por mês	500
Total (seis meses de estação fria)	3000

De maneira a melhor entender a dimensão do consumo, realiza-se uma estimativa do número necessário de árvores para aquecer anualmente o edifício. Tendo em conta a espécie de árvore, a sua altura e o seu diâmetro, são estimados o volume por árvore e a sua massa, apresentados na tabela 19.

Tabela 19 - Características da biomassa consumida

Espécie	Sobreiro (<i>Quercus suber</i>)
Idade (anos)	10-15
Diâmetro à altura do peito (m)	0,5
Altura (m)	10
PCI (kWh/kg)	8,07
PCS (kWh/kg)	8,1
Volume por árvore (m ³)	1,135
Massa por árvore (kg)	1417,84

Comparando os valores de massa, verifica-se que anualmente é necessária biomassa equivalentes a duas árvores com as características descritas na tabela 19 para o aquecimento do edifício durante a estação fria.

A nível de custos monetários, a biomassa consumida possui um custo de aquisição de 150€ por cada tonelada. Tendo em conta que são consumidas três toneladas de biomassa, isto traduz-se num custo anual de 450€.

$$\text{Custo com biomassa} = 450 \text{ €/ano}$$

6.5 Melhorias propostas

Serão agora propostas melhorias a alguns dos sistemas existentes no edifício. Estas intervenções podem ser classificadas em duas categorias: melhoria realizada a um sistema já existente através da introdução de novos componentes ou pelo dimensionamento de um sistema totalmente distinto daquele existente. Com base no subcapítulo das soluções instaladas, determinou-se que serão feitas intervenções nos seguintes sistemas:

- Paredes: melhorias no isolamento;
- Vãos envidraçados: substituição dos vãos e caixilhos;
- Ventilação: ajustes nas chaminés de exaustão de gases de combustão;
- Águas quentes sanitárias: substituição dos esquentadores a gás por um sistema solar térmico;

Além das melhorias propostas aos sistemas existentes, é ainda realizado o estudo da implantação de um sistema fotovoltaico para geração de energia.

6.5.1 Isolamento pelo exterior

Como solução ao baixo nível de isolamento das paredes, é sugerida a instalação de um sistema de isolamento pelo exterior (ETICS). A escolha desta solução é feita tendo em conta três pontos em específico: a possibilidade de aplicação em paredes existentes sem necessidade de novas construções, o aproveitamento da inércia térmica das paredes e a eliminação de pontes térmicas existentes.

Feita a escolha do sistema a implementar, foi realizado um estudo acerca da espessura necessária de isolante, tendo como variantes diferentes tipos de materiais e a sua condutibilidade térmica.

Os materiais escolhidos referem-se aos mais utilizados na construção para isolamento térmico e acústico, sendo eles o EPS, XPS e a cortiça. Abaixo é apresentada a tabela 20 com a condutibilidade térmica de cada material:

Tabela 20 – Condutibilidade térmica de materiais isolantes [5]

Material	Condutibilidade Térmica k (W/m. °C)
EPS	0,042
XPS	0,037
Cortiça	0,045

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica é efetuado recorrendo às seguintes expressões:

$$U = \frac{1}{\sum R_T} \quad (14)$$

$$R_T = \frac{e}{k} \quad (15)$$

Onde R_T representa a resistência térmica do material, e representa a espessura de material aplicado e k a condutibilidade térmica.

Utilizando o U de referência proposto pela legislação ($U = 0,50$), determina-se qual a espessura necessária de isolante de cada tipo, tendo em conta a parede com menor espessura (0,18m). Os resultados obtidos são apresentados na tabela 21.

Tabela 21 - Espessura mínima necessária de isolante

Material	Espessura necessária (m)
EPS	0,06
XPS	0,05
Cortiça	0,06

Majorando os valores obtidos, serão necessários cerca de 0,06m (60mm) de espessura de material isolante caso se escolha utilizar EPS ou cortiça e 0,05m (50mm) de espessura de material isolante no caso de se escolher XPS.

Definidas as espessuras necessárias de isolante térmico a instalar, segue-se para a etapa da aplicação e dos custos envolvidos.

Uma vez que a instalação deste tipo de sistemas deve ser feita por profissionais devidamente qualificados, foi feita uma pesquisa no mercado a fim de determinar a existência deste tipo de serviço na área de Setúbal e Lisboa.

Feita a seleção das empresas especializadas na aplicação do sistema ETICS, foi realizado um pedido de orçamento referente à aplicação do sistema na moradia em estudo.

De maneira a auxiliar o processo de avaliação do sistema a implementar, foram fornecidas as informações referentes à localização e orientação do edifício, tal como da área exterior das paredes a instalar o sistema, da constituição da parede e do tipo de pintura existente. A informação relativa aos valores fornecidos encontra-se na tabela 22. Foram ainda fornecidas as imagens do edifício produzidas no *SolidWorks* e que estão presentes nesta dissertação.

Tabela 22 - Informação requisitada para a aplicação do sistema ETICS

Requisito	Descrição
Localização	Seixal
Orientação das paredes	24% Norte, 30% Sul, 39% Este, 7% Oeste
Área exterior a cobrir (m ²)	153,63
Constituição das paredes	Tijolo de 15 e 0,03m de reboco interior e exterior
Tipo de pintura	Tinta plástica de cor branca
Isolamento pretendido	EPS com 0.06m de espessura

Após a avaliação das diversas propostas obtidas, optou-se por escolher a proposta entregue pela empresa Mais Urbana, uma empresa especializada em construção civil, gestão de obras, licenciamentos, projetos de interiores, remodelações, recuperação de edifícios e compra e venda de imóveis. A escolha desta proposta sobre as demais recaiu sobre o valor do orçamento apresentado.

A tabela 23 apresenta a informação enviada pela Mais Urbana, contendo a descrição dos elementos necessários para a aplicação do sistema ETICS e os respetivos custos monetários.

Tabela 23 – Descrição dos processos relacionados com a aplicação do sistema ETICS e os consequentes custos

Descrição	Custo (€)
Lavagem das superfícies a jato de água de alta pressão; Aplicação do primário Prymer ACQ; Aplicação de placas de isolante EPS com 60mm de espessura, coladas através da aplicação de Adesan CPS-B; Fixação mecânica com bucha de nylon; Barramento armado com Adesan CPV 22 e aplicação de rede de fibra de vidro; Segundo barramento com Adesan CPV 22; Aplicação do revestimento final com Visoplast VLB 1-S.	7100,00
Meios de elevação – Fornecimento, montagem e desmontagem de andaimes.	690,00
Valor Total sem IVA.	7790,00
Valor Total com IVA.	8787,12

Com esta nova configuração, as paredes exteriores do edifício passam a possuir um coeficiente de transmissão térmica de $0,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$, igualando o valor limite máximo estipulado pela legislação portuguesa. Desta maneira o edifício em estudo passa a cumprir os requisitos de eficiência energética e de qualidade térmica estipulados pelo Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação.

6.5.2 Vãos

Uma medida sugerida para o melhoramento do comportamento térmico do edifício passa pela substituição de alguns vão mais antigos e com fracas características de isolamento térmico.

A tabela 24 apresenta os diversos vãos sujeitos a intervenções. Entre os elementos selecionados encontram-se vão envidraçados (janelas e portas de vidro) e vãos opacos (portas).

Tabela 24: Vãos sujeitos a intervenção

Elemento	Tipo	Tipo de envidraçado	Caixilharia	Orientação	Dimensões (m)
B	Janela	Simples	Alumínio	Este	0,99x1,44
C	Janela	Simples	Alumínio	Este	1,20x1,00
D	Janela	Simples	Alumínio	Este	1,46x1,50
E	Janela	Simples	Alumínio	Este	1,46x1,50
K	Janela	Simples	Alumínio	Norte	1,45x1,50
L	Porta de vidro	Simples	Alumínio	Norte	2,08x1,48
O	Porta de vidro	NA	Alumínio	Sul	2,20x0,68
P	Janela	Simples	Alumínio	Sul	1,20x2,00
Q	Janela	Simples	Alumínio	Sul	0,95x0,93
R	Porta	NA	Alumínio	Sul	2,00x0,79
S	Janela	Simples	Alumínio	Sul	1,00x0,80
T	Janela	Simples	Alumínio	Sul	0,98x0,83
V	Janela	Simples	Alumínio	Sul	0,99x1,43
X	Janela	Simples	Alumínio	Sul	0,99x1,15

Uma vez selecionados os elementos a intervir, será feita a descrição das soluções previstas para cada tipo de vão.

A nível de vãos envidraçados, começa-se pela escolha da caixilharia a instalar. Para este elemento, importa dois parâmetros: o tipo de abertura da janela e o material constituinte. Para o tipo de abertura, será dada preferência a janelas do tipo batente ou oscilo-batente. Esta escolha deve-se ao forte desempenho a nível de permeabilidade ao ar, reduzindo as perdas de calor para o exterior. Quanto ao material constituinte da caixilharia, a escolha recai sobre o PVC devido à sua capacidade de isolamento térmico e ao baixo custo de aquisição.

Em relação ao vidro a instalar, cada vão envidraçado será constituído vidro duplo, incolor e de preferência com baixa emissividade.

Escolhida a constituição dos vão envidraçados e dos seus elementos constituintes, segue-se uma pesquisa de mercado. Tal como o sistema ETICS, a venda e instalação de vãos deve ser realizada por profissionais experientes na área. Como tal, foi feita uma procura de empresas no distrito de Setúbal para a aquisição e instalação dos vão envidraçados dimensionados.

Após contacto com algumas empresas, optou-se por se realizar o pedido junto da ArteJanelasPVC, uma empresa especializada no comércio e instalação de vãos envidraçados, localizada no Seixal. Foram descritos os vãos a instalar e os requisitos escolhidos para a sua constituição. Com isto foram sugeridas as seguintes soluções.

Caixilharia:

A caixilharia recomendada e que é comercializada pela ArteJanelasPVC é produzida pela empresa de polímeros Alemã REHAU, cujo logotipo é apresentado na figura 80.



Figura 80 - Logotipo da REHAU

O modelo a instalar, representado na figura 81, trata-se de um vão do tipo oscilobatente, fabricado em PVC e possui um tom cor clara.



Figura 81 - Caixilharia oscilo-batente comercializada pela ArteJanelaPVC. Fonte: ArteJanelaPVC

Este modelo possui um coeficiente de transmissão térmica de $1,3 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

Devido à existência de componentes metálicos no interior do perfil, este modelo possui incorporado um corte térmico entre a moldura interior e moldura exterior, conferindo globalmente um melhor isolamento térmico ao vão envidraçado.

Os vidros comercializados pela ArteJanelaPVC são produzidos pela empresa francesa Saint-Gobain, cujo logotipo é apresentado na figura 82.



Figura 82 - Logotipo da Saint-Gobain

Esta empresa produz e comercializa uma vasta gama de vidros de baixa emissividade com alta performance de isolamento térmico. De entre os vários modelos existentes, optou-se pela escolha do modelo *Planitherm 4S* devido à sua elevada qualidade de isolamento térmico e de proteção solar. As características deste modelo estão representadas na tabela 25.

Tabela 25 – Modelo de vão envidraçado escolhido

Modelo	Planitherm 4S
Transmissão (%)	40
Reflexão (%)	41
Absorção (%)	17
Fator solar, g	0,43
Índice de seletividade	1,51
Coefficiente de transmissão térmica, U (W/m ² °C)	1,30

Escolhidos os componentes intervenientes na composição do vão envidraçado, será agora realizado o cálculo do coeficiente de transmissão térmica do conjunto. Uma vez que o vão é composto por diferentes elementos, é necessário ter em conta os coeficientes de transmissão térmica dos vários componentes, tal como a sua área de exposição e a configuração da ligação entre eles. Para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica do conjunto, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios recomenda a utilização da seguinte expressão [23]:

$$U_w = \frac{A_f \times U_f + A_g \times U_g + I_g \times \Psi_g}{A_f + A_g} \quad (16)$$

A descrição das variáveis e as suas unidades estão apresentadas na tabela 26.

Tabela 26 – Variáveis intervenientes no cálculo do U do vão envidraçado

Variável	Descrição	Unidade
U_w	Coefficiente de transmissão térmica da janela	W/m ² °C
A_f	Área da caixilharia	m ²
U_f	Coefficiente de transmissão térmica da caixilharia	W/m ² °C
A_g	Área da janela	m ²
U_g	Coefficiente de transmissão térmica do vidro	W/m ² °C
I_g	Perímetro da ligação entre a caixilharia e o vidro	m
Ψ_g	Coefficiente da transmissão térmica linear	W/m°C

O coeficiente de transmissão térmica linear está relacionado com a transmissão de calor que surge devido ao contacto entre a caixilharia e o vidro. Os valores típicos desta variável estão apresentados na figura 83 e dependem do tipo de caixilharia e tipos de vidros.

Tipo de Caixilharia	Valor do coeficiente de transmissão térmica linear para diferentes tipos de vidro, ψ_g [W/(m ² ·°C)]		
	Vidros duplos ou triplos não revestidos (lâmina de ar ou gás)	Vidros duplos(a) ou triplos(b) de baixa emissividade (lâmina de ar ou gás)	Vidro Simples
Madeira ou PVC	0,06	0,08	0
Metálica com corte térmico	0,08	0,11	
Metálica sem corte térmico	0,02	0,05	

Figura 83 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica segundo o SCE [23]

Para o caso de estudo, o valor de Ψ_g toma o valor de 0,08, pois a solução proposta é composta por caixilharia em PVC com vidros duplos de baixa emissividade.

Utilizando os valores previamente calculados referentes às áreas de vidro e caixilharia de cada vão, tal como os valores dos coeficientes de transmissão térmica fornecidos pelos fabricantes, efetuou-se o cálculo do coeficiente de transmissão térmica para cada um dos vãos envidraçados. Os valores obtidos são apresentados na tabela 27.

Tabela 27 - Coeficiente de transmissão térmica par cada vão envidraçado, antes e depois da intervenção.

Elemento	Coeficiente de transmissão térmica U (W/m ² ·°C)
B	1,54
C	1,56
D	1,50
E	1,50
K	1,50
L	1,47
O	1,58
P	1,49
Q	1,59
S	1,60
T	1,60
V	1,54
X	1,56

Uma análise aos resultados obtidos evidencia que apesar das diferenças de área dos vãos, os valores do coeficiente de transmissão térmica obtido para cada vão encontram-se numa vizinhança de valores próximos. Estes valores encontram-se abaixo do valor estipulado pela legislação portuguesa ($U_{REF} = 2,80$ W/m²·°C), validando assim a solução sugerida para os vãos envidraçados sob intervenção.

Comparando os valores do coeficiente de transmissão térmica antes da intervenção ($U = 4,8 \text{ W/m}^2\text{°C}$) e após a intervenção (tabela 27), verifica-se uma diferença substancial entre ambos. Conclui-se que os vãos após intervenção possuem uma eficiência três vezes superior aos vãos antigos.

Em relação ao vão opaco a substituir, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios não prevê requisitos mínimos em termos de coeficiente de transmissão térmica, embora recomende a utilização de elementos com um isolamento térmico eficiente. Assim sendo, será utilizada a metodologia de escolha utilizada para os vãos envidraçados, isto é, a escolha de um vão cujo material da caixilharia possua um menor coeficiente de transmissão térmica.

Ao contrário dos elementos anteriormente selecionados, a escolha e instalação de um vão opaco não requer o aconselhamento profissional. Como tal, foi realizada uma pesquisa em diversos catálogos de material de habitação, sendo o produto final selecionado comercializado pela empresa Leroy Merlin.

O vão opaco selecionado é fabricado em PVC, conferindo-lhe a propriedade de baixa transmissão térmica. O fabricante assegura um coeficiente de transmissão térmica de $1,4 \text{ W/m}^2\text{°C}$, o que evidencia a sua eficiência térmica. A figura 84 apresenta o vão opaco selecionado.



Figura 84 - Vão opaco a instalar. Fonte: Leroy Merlin

Um pormenor a salientar será a necessidade de ampliar o local de implantação, uma vez que este elemento possui 2,08m de altura e 0,98m de comprimento e o vão atual possui 2,00m de altura e 0,79m de comprimento.

Por último é realizado um apanhado dos custos relacionados com as intervenções sugeridas para os vãos do edifício. na tabela 28 são apresentados os custos de aquisição do material dimensionado.

Tabela 28 - Entidades fornecedoras dos vão e respetivos custos de aquisição



Elementos	Fornecimento e instalação	Custo de aquisição (€)
Vão envidraçados	ArteJanelasPVC	4690,00
Vãos opacos	Leroy Merlin	209,00
Custo Total		4899,00

6.5.3 Ventilação das chaminés

A única intervenção sugerida na vertente da ventilação está relacionada com a reforma das chaminés de exaustão de gases de combustão. Como verificado anteriormente no subcapítulo das soluções existentes, existem duas chaminés com elevadas perdas de calor para o exterior. É também mencionado que apenas uma das chaminés possui um sistema de aquecimento acoplado, estando a outra apenas a favorecer a exaustão do ar interior. Como tal, serão dimensionadas soluções distintas para cada um destes elementos.

Em relação à chaminé que efetua a exaustão dos gases de combustão da salamandra a biomassa, esta não possui qualquer proteção contra o vento ou a chuva. A solução estudada passa por adicionar ao topo da chaminé um elemento denominado por chapéu de chaminé. A tabela 29 apresenta os diferentes tipos de chapéus de chaminés considerados.

Tabela 29 - Diferentes tipos de chapéus de chaminés

Tipo	Descrição	Ilustração	Custo
Chapéu saturno	O chapéu Saturno é constituído por vários elementos circulares, tendo como principal função evitar a entrada de chuva pela conduta de exaustão.	 Fonte: EcoCasaMais	27,80€ Fonte: EcoCasaMais
Chapéu em H	O chapéu H obtém esta denominação a partir da sua forma. Distingue-se pela sua capacidade em evitar que a ação do vento condicione a exaustão dos gases de combustão. Apresenta também uma boa estanquicidade à água da chuva.	 Fonte: EcoCasaMais	28,60€ Fonte: EcoCasaMais

Chapéu em crista de galo	O chapéu em crista de galo trata-se de um chapéu rotativo adequado para zonas ventosas. Com o deflector a acompanhar as mudanças de direção de vento, este chapéu impede o refluxo de fumos e a entrada de chuva pela chaminé.	 <p>Fonte: EcoCasaMais</p>	<p>38,50€</p> <p>Fonte: EcoCasaMais</p>
--------------------------	--	--	---

Considera-se que a integração de qualquer um destes elementos irá favorecer a eficiência do sistema de extração de gases. No entanto prossegue-se com uma escolha mais minuciosa do elemento a instalar. De acordo com a descrição apresentada na tabela 29 e comparando os três elementos selecionados, é fácil de entender que o chapéu saturno deverá ser a última solução a escolher, uma vez que não impede o vento de interferir com o fluxo de exaustão. Em relação ao chapéu em H e em crista de galo, ambas possuem a capacidade de estanquicidade de água tal como o impedimento do refluxo de gases de combustão para o interior do edifício devido à ação do vento. No então, existe uma diferença entre ambos que importa salientar, que é o movimento de rotação do chapéu em crista de galo. Este movimento indicia a existência de elementos mecânicos que permitem a rotação da parte superior do chapéu. A longo prazo isto pode tornar-se uma fonte de problemas, uma vez que os gases a alta temperatura que são extraídos pela chaminé irão causar o deterioramento destes elementos mecânicos. A instalação desta solução requer então uma manutenção periódica como a limpeza de fuligem e a lubrificação das peças mecânicas. Este pormenor coloca a escolha do chapéu em crista de galo em desvantagem para com a solução com um chapéu em H. Assim sendo, considera-se que a melhor solução será a integração de um chapéu em H como topo para a chaminé de exaustão de gases de combustão.

Ainda neste elemento, é sugerida a instalação de um cobre água de maneira a proteger o interior do edifício da água da chuva, tal como reduzir as perdas de calor devido à convecção do ar. Este trata-se de um elemento em chapa com as dimensões do topo da chaminé e que permite a passagem da conduta metálica através de um furo no seu interior, como ilustrado na figura 85.



Figura 85 - Cobre águas. Fonte: Leroy Merlin

Em relação à chaminé que se encontra desocupada, a solução proposta passa pela introdução de elementos que impeçam a passagem de ar do interior do edifício para o exterior. Estes elementos devem de ser instalados nos orifícios da chaminé, um no topo para impedir a entrada de água na chaminé e outro no interior do edifício de maneira a impedir o ar interior de subir e transferir calor com as paredes da chaminé. Em relação aos constituição dos elementos, o elemento superior deve ser produzido em metal (alumínio ou aço inox) de maneira a suportar as condições exteriores, enquanto que o elemento no interior deverá ser produzido num material com boas qualidades isolantes (madeira ou PVC).

6.5.4 Instalação solar térmica (AQS)

De maneira a substituir o aquecimento de águas sanitárias realizado por esquentadores a gás, será dimensionada uma instalação solar térmica que realize a mesma tarefa. Para a simulação dos ganhos da instalação dimensionada será utilizado o programa SolTerm. Este trata-se de um programa de análise de desempenho de sistemas solares, através de simulação numérica de balanços energéticos ao longo de um ano de referência, e especialmente concebido para as condições climáticas e técnicas de Portugal. O SolTerm está preparado para ser utilizado na contabilização da contribuição de sistemas de energias renováveis para balanço energético de edifícios, no contexto do Sistema de Certificação de Edifícios Decreto-lei 118/2013 de 20 de agosto. Associado ao SolTerm está um banco de dados, incluindo coletores solares térmicos e kits solares térmicos certificados, assim como um conjunto diversificado de componentes.

Feita a introdução do programa, parte-se agora para a simulação efetuada. Esta tem início na escolha dos parâmetros locais, muito importantes no dimensionamento do sistema solar térmico.

O local a implementar a instalação será no Seixal. Escolhida esta localização, o programa faculta os valores de irradiação e temperatura referentes ao local, como ilustra a figura 86.

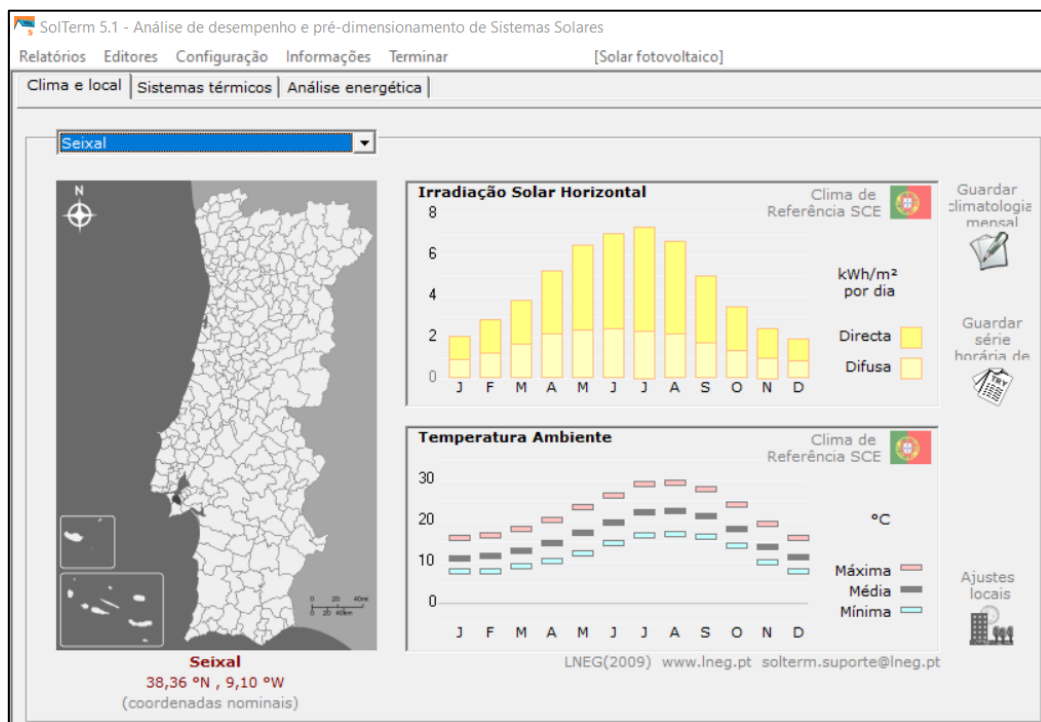


Figura 86 – Escolha do local de implantação da instalação solar térmica no SolTerm

Em seguida, é feita a configuração da instalação. Neste caso, será um sistema de circulação forçada com depósito para a acumulação da energia térmica, ilustrado na figura 87.

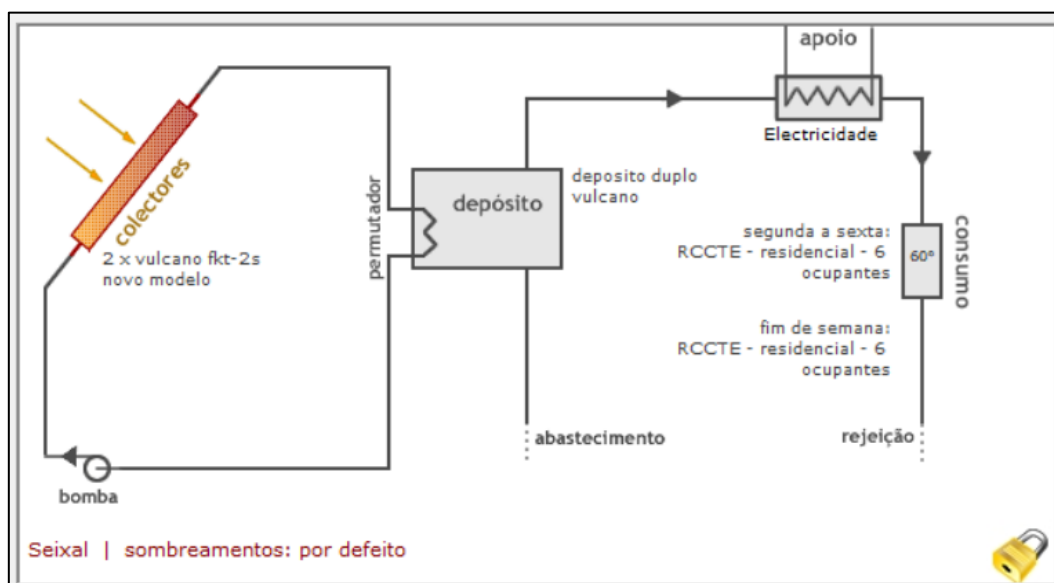


Figura 87 – Sistema de circulação forçada. Esquema retirado do SolTerm

O dimensionamento toma início com o cálculo do volume de acumulação mínimo necessário para o edifício em estudo. O RCCTE estipula um volume de 40 litros por habitante, fazendo um total de 240 litros para os seis habitantes do edifício. Este valor corresponde ao valor mínimo para as necessidades de AQS do edifício.

Tal como estudado anteriormente, um método para melhorar a eficiência do sistema passa pela instalação de dois depósitos de acumulação. Serão então escolhidos dois depósitos, um para o fluido aquecido pelos coletores solares e outro capaz de fornecer calor ao fluido em situações de ausência de radiação. É necessário referir que o SolTerm não possui a opção de simulação com dois depósitos. Assim sendo, será simulado o caso com um depósito cujo volume equivale à soma dos dois depósitos dimensionados.

Procede-se então para a escolha dos depósitos e determinação em definitivo o valor do volume de acumulação.

Com base em catálogo da marca Vulcano, escolheu-se os depósitos acumuladores com as seguintes características:

Depósito para pré-aquecimento solar.

- Modelo: SK 160-5 ZB
- Volume (útil): 157 litros

Depósito com aquecimento auxiliar.

- Modelo: Waternox 1 (uma serpentina)
- Volume (útil): 196 l

Somando os volumes dos dois depósitos, chega-se a um volume de acumulação final de 353 litros.

Uma vez calculado o volume necessário, é possível relacionar este valor com a área total (A_T) de coletores necessários, utilizando a seguinte equação:

$$50 \times A_T < Volume < 75 \times A_T \quad (17)$$

Utilizando o volume anteriormente determinado, obtém-se a seguinte expressão para a área total de coletores a instalar:

$$4,71 < A_T < 7,06 \quad (18)$$

Com este intervalo em mente, segue-se a escolha dos coletores solares a integrar na instalação.

Os coletores solares escolhidos são também produzidos pela marca Vulcano. Trata-se de coletores planos com alto rendimento, de instalação vertical e circuito hidráulico com dupla serpentina. Os dados técnicos destes coletores são apresentados na figura 88. a restante ficha técnica encontra-se em anexo.


Gama		PremiumSun
Modelo		FKT-2S
Certificados		
Montagem		Vertical
Dimensões: A x L x P	mm	2170 x 1175 x 87
Área total	m²	2,55
Área de abertura	m²	2,43
Área do absorvedor	m²	2,35
Volume do absorvedor	l	1,61
Peso em vazio	kg	45
Pressão de funcionamento admissível do coletor	bar	10
Caudal nominal	l/h	50
Estrutura	Fibra de vidro numa só peça (SMC)	
Isolamento	Lã mineral, 55 mm espessura	
Absorvedor	Altamente seletivo	
Cobertura do absorvedor	PVD	
Circuito hidráulico	Dupla serpentina	
Curva de rendimento instantâneo segundo EN 12975-2 (baseada na área de abertura)		
Fator de eficiência (η)		0,794
Coeficiente de perdas linear (a_1)	W/(m²K)	3,863
Coeficiente de perdas secundário (a_2)	W/(m²K²)	0,013

Figura 88 - Dados técnicos referentes ao coletor solar da Vulcano. Fonte: Coletor solar PremiumSun FKT-2S, Vulcano

Cada coletor possui uma área de absorção de cerca de 2,35m². Comparando com o intervalo de valores obtidos anteriormente, conclui-se que a instalação poderá possuir entre dois e três coletores solares do modelo estudado.

Conhecidos os principais parâmetros, é necessário criar um modelo do coletor e introduzir as componentes necessárias ao cálculo do desempenho da instalação. Na figura 89 é possível ver as características dimensionais dos coletores escolhidos e o seu fator de eficiência térmica.

Campo de colectores

Equipamento

vulcano fkt-2s

novo modelo

montagem fixa

abertura = 2,43 m² a1 = 3,860 W/m²/K

$\eta_0 = 0,79$ a2 = 0,0130 W/m²/K²

Configuração do painel

2 colectores = 4,9 m²
(3,4 kW nominal)

Inclinação 33°
Azimute Sul

sugerir

Figura 89 – Introdução dos parâmetros referentes ao coletor solar escolhido no SolTerm

Ainda nas opções apresentadas na figura 89, é possível escolher a posição do painel referente à inclinação e azimute. O programa possui uma ferramenta que permite verificar qual a energia incidente diária média dependendo da posição em que são colocados os coletores solares. Os valores obtidos para a localização escolhida são apresentados na figura 90.

Energia incidente diária média (kWh/m²)										
I n c i d e n t e n c i a	68°	3,95	4,19	4,37	4,49	4,53	4,51	4,43	4,28	4,07
	63°	4,12	4,36	4,56	4,68	4,72	4,70	4,62	4,46	4,24
	58°	4,27	4,52	4,71	4,84	4,88	4,87	4,78	4,62	4,39
	53°	4,40	4,65	4,85	4,97	5,02	5,00	4,91	4,75	4,53
	48°	4,52	4,76	4,95	5,08	5,12	5,11	5,02	4,87	4,65
	43°	4,61	4,85	5,03	5,16	5,20	5,18	5,10	4,95	4,75
	38°	4,69	4,91	5,09	5,20	5,24	5,23	5,15	5,02	4,82
	33°	4,74	4,95	5,11	5,22	5,25	5,24	5,18	5,05	4,88
	28°	4,77	4,96	5,11	5,20	5,24	5,23	5,17	5,07	4,91
	23°	4,79	4,95	5,08	5,16	5,19	5,18	5,14	5,05	4,92
	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	
Azimute										

Figura 90 - Energia solar em determinada inclinação e valor de azimute. Fonte: SolTerm

Existe a questão que se prende com qual será o melhor posicionamento dos coletores, e quais as consequências a nível energético e monetário que a escolha acarreta. Como verificado anteriormente, o local de instalação do campo solar não possui a inclinação nem a orientação para a captação maximizada de radiação solar. Para tal, é necessário instalar uma estrutura metálica que confira a posição ótima, tendo, porém, um custo de aquisição a considerar. Como tal, para esta instalação são ponderados dois casos:

Caso 1: No primeiro caso, os coletores serão posicionados a uma inclinação de 33° e orientados a Sul com o Azimute igual a 0°, o que corresponde à orientação para uma melhor captação solar, como demonstrado na figura 90;

Caso 2: No segundo caso, os coletores serão posicionados a uma inclinação de 19° e desvio de (-27°) do azimute solar, correspondendo a serem posicionados paralelamente à cobertura.

Daqui em diante será realizada uma comparação constante entre estes dois casos a fim de verificar quais os benefícios e consequências de diferentes configurações tendo em conta a posição dos coletores.

Uma vez escolhidos os principais elementos, procede-se à simulação do desempenho da instalação ao longo do ano. Neste estágio do dimensionamento, são utilizados dois coletores para a captação da energia solar e posicionados de acordo com o Caso 1. Os resultados obtidos são apresentados na figura 91.

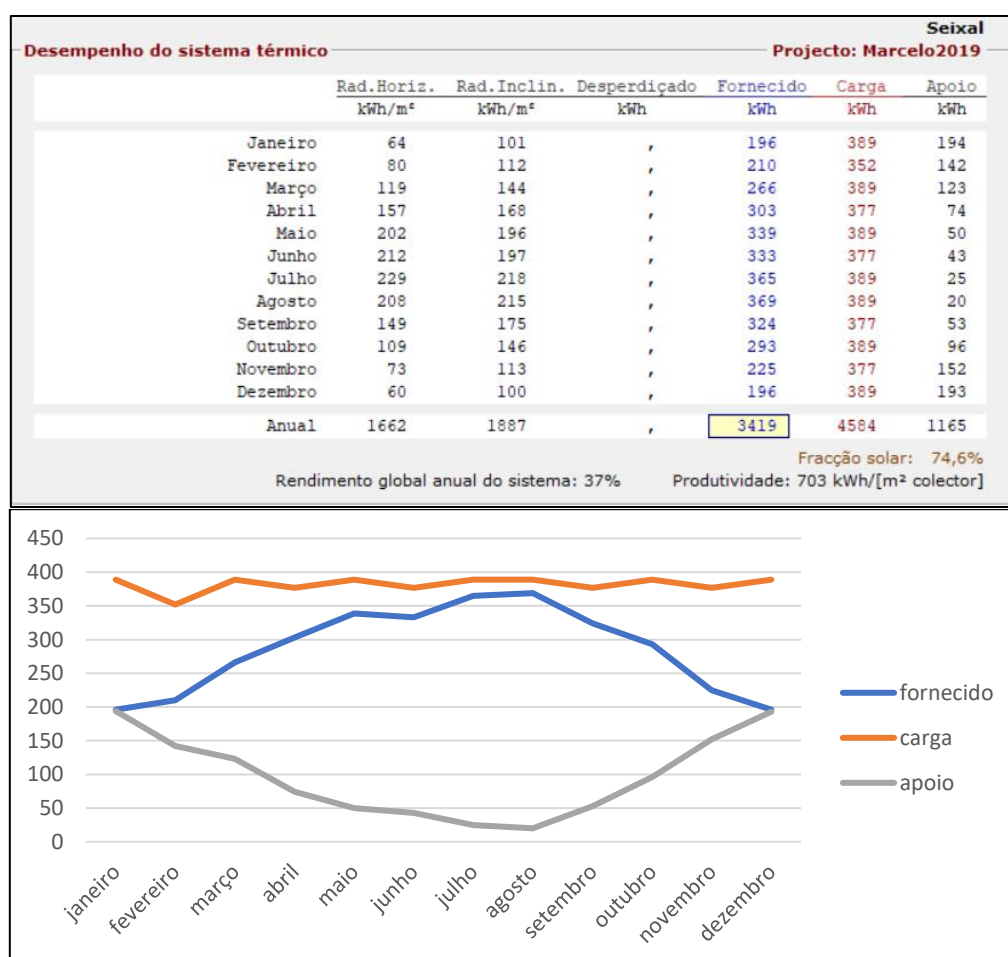


Figura 91 - Desempenho do sistema para o Caso 1 (inclinação 33° e azimute sul)

Como esperado, os meses pertencentes à estação fria são aqueles em que a instalação capta menos energia a partir do sol, sendo necessário um maior apoio por parte da energia auxiliar. A instalação possui um melhor desempenho nos meses pertencentes à estação quente.

É realizado a mesma simulação, mas agora com o posicionamento dos coletores de acordo com o Caso 2. Os resultados obtidos são apresentados na figura 92.

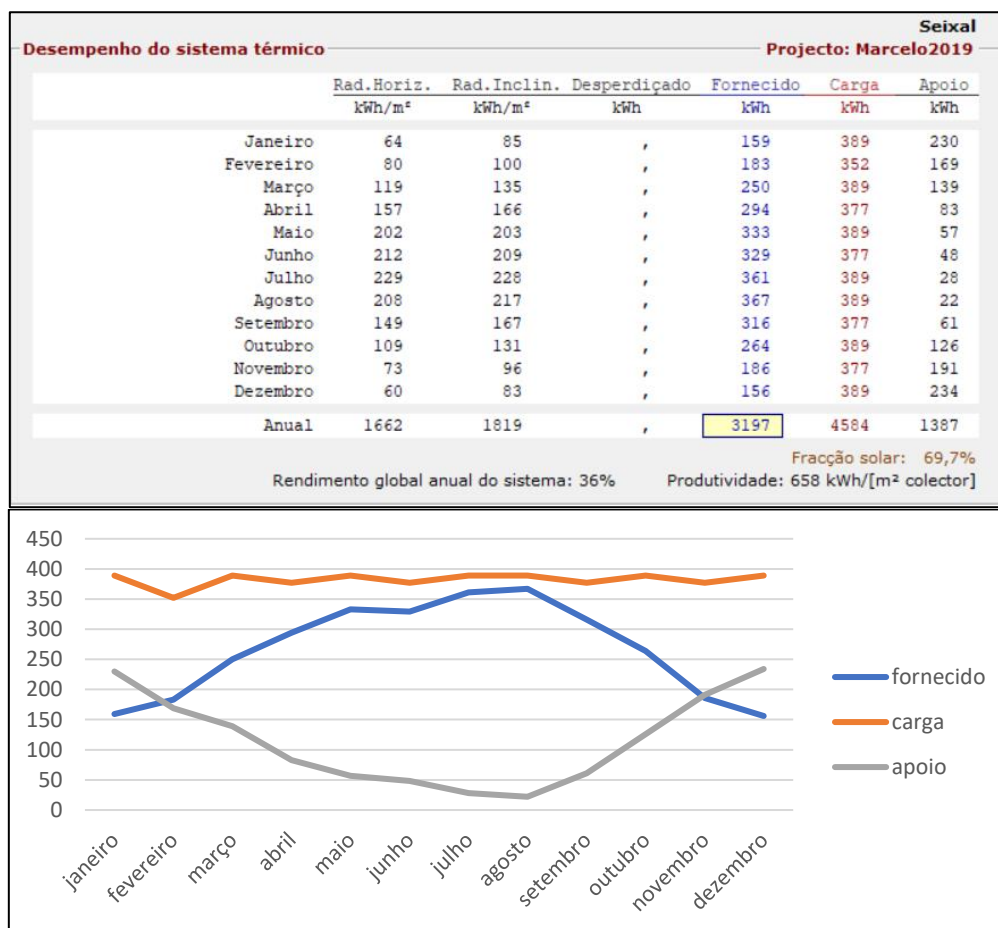


Figura 92 - Desempenho do sistema para o caso 2 (inclinação 19° e azimute -27°)

Com base na figura 81 e figura 92, é possível verificar que a instalação com o posicionamento do Caso 1 possui um melhor rendimento quando comparada com o Caso 2.

Durante os meses quentes, ambos os casos canalizam energia suficiente para satisfazer as cargas de aquecimento, pelo que a diferença relativa ao posicionamento dos coletores pouco influencia o rendimento da instalação.

A grande diferença entre os dois casos encontra-se nos meses frios. Verifica-se uma maior necessidade de energia de apoio no Caso 2, consequência direta da posição dos

coletores solares. Durante os meses frios, o sol realiza o seu trajeto a uma altura solar mais baixa, o que limita a captação de radiação de coletores com inclinações mais horizontais, tal como retratado no Caso 2.

Comparando os valores de fração solar de ambos os casos apresentados na tabela 30, verifica-se que a percentagem de energia utilizada que é proveniente de fontes renováveis no Caso 1 é ligeiramente superior que no Caso 2. Ainda assim, ambas as configurações dos coletores apresentam resultados positivos, sendo que uma fração solar de 50% é já considerado um valor aceitável.

Tabela 30 - Fração solar dos dois casos de estudo

	% de energia fornecida anualmente	% de energia de apoio anual
Caso 1	74,6%	25,4%
Caso 2	69,7%	30,3%

Foi verificado anteriormente que a instalação dimensionada pode acoplar entre dois a três coletores solares da gama selecionada. A fim de verificar o desempenho da instalação, é adicionado mais um coletor ao campo solar. Com esta alteração, o campo solar passa a possuir uma área de absorção de 7,05m² e uma área total de 7,65m².

É de novo simulado o desempenho da instalação com o posicionamento referente ao Caso 1, mas agora com o novo campo solar. Os resultados obtidos são apresentados na figura 93.

Desempenho do sistema térmico						Seixal
						Projecto: Marcelo2019
	Rad.Horiz.	Rad.Inclin.	Desperdiçado	Fornecido	Carga	Apoio
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh
Janeiro	64	101	,	250	389	139
Fevereiro	80	112	,	255	352	97
Março	119	144	,	318	389	71
Abril	157	168	,	347	377	29
Maio	202	196	,	370	389	19
Junho	212	197	2,	361	377	16
Julho	229	218	15,	381	389	9
Agosto	208	215	29,	384	389	5
Setembro	149	175	8,	349	377	28
Outubro	109	146	,	336	389	53
Novembro	73	113	,	270	377	107
Dezembro	60	100	,	252	389	137
Anual	1662	1887	54,	3873	4584	710
Rendimento global anual do sistema: 28%						Fracção solar: 84,5%
Produtividade: 531 kWh/[m ² colector]						

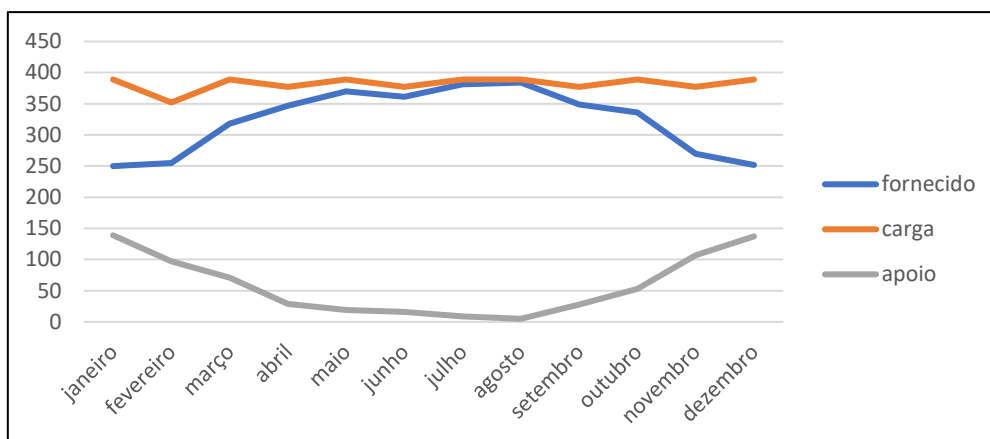


Figura 93 - Desempenho do sistema com o campo solar ampliado (inclinação 33° e azimute sul)

Da mesma forma realiza-se a simulação para o Caso 2 com o campo solar ampliado. Os resultados são apresentados na figura 94.

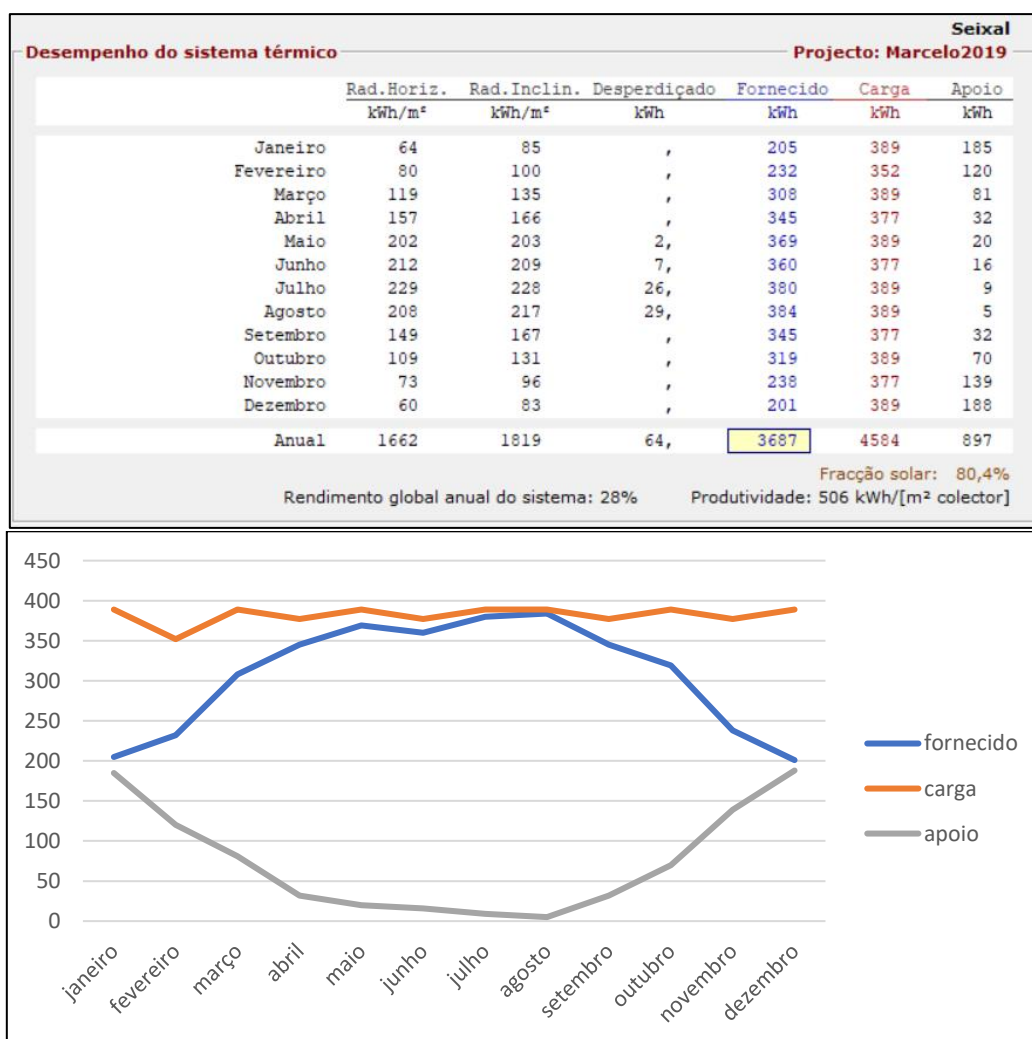


Figura 94 - Desempenho do sistema com o campo solar ampliado (inclinação 19° e azimute -27°)

É possível verificar que a adição de um coletor solar resultou no aumento de energia fornecida à instalação e diminuição de energia de apoio requisitada.

Durante a estação quente, a instalação consegue suprimir a carga imposta, existindo, porém, uma parte da energia térmica captada é rejeitada do sistema devido a excedente. Em termos de desempenho da instalação, o sobredimensionamento do sistema leva a uma diminuição na eficiência energética global da instalação. Esta ineficiência deve-se ao facto de a energia captada não estar a ser aproveitada (produção superior ao consumo). Também o aumento da temperatura de operação do fluido nos coletores solares acarreta efeitos negativos ao desempenho do sistema, sendo uma consequência direta da adição de mais um coletor solar.

Tal como na configuração com 2 coletores solares, é durante a estação fria que existe maior discrepância nos valores de energia fornecida obtida entre os dois casos estudados. No pico da estação fria (dezembro e janeiro) o Caso 2 fornece pouco mais de metade da energia necessária (52,19%). Esta situação pode ser equiparada com o Caso 1 da instalação com apenas 2 coletores (figura 49). No pico da estação fria, a instalação fornecia cerca de metade (50,04%) da energia requisitada.

Conclui-se que a adição de um coletor ao pior caso (Caso 2) irá garantir que a instalação fornece cerca de metade da energia necessária durante a estação fria. Ou seja, a adição de um coletor compensa o posicionamento menos eficiente dos coletores solares.

No melhor caso (Caso 1) a adição de um coletor aumenta a energia fornecida para 62,52% durante a estação fria.

Em ambos os casos, a adição do coletor irá proporcionar o incremento da fração solar e consequente diminuição da energia de apoio necessária. Estes valores são apresentados na tabela 31.

Tabela 31 - Fração solar após o aumento do campo solar

	Energia fornecida anualmente	Energia de apoio anual
Caso 1	84,5%	15,5%
Caso 2	80,4%	19,6%

Apesar do incremento de energia proporcionado pelo aumento do campo solar, o dimensionamento irá prosseguir contabilizando apenas dois coletores solares.

Com base nos resultados obtidos pelas simulações realizadas, os coletores solares serão acoplados a uma estrutura metálica de maneira a conferir a posição estudada no Caso 1. Esta estrutura, ilustrada na figura 95, é composta por diversos perfis metálicos.

Foram escolhidos perfis ocós de maneira a reduzir o peso da estrutura e facilitar o processo de corte dos perfis.

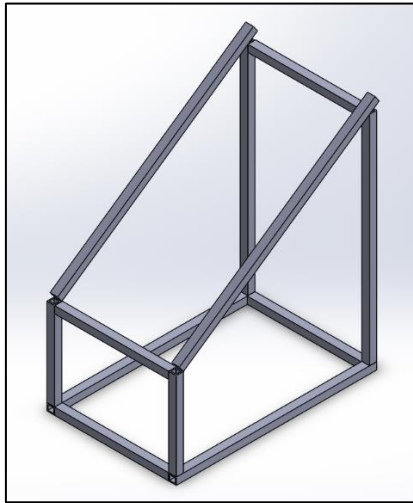


Figura 95 – Estrutura de suporte dos coletores solares térmicos. Fonte: Autoria do autor

A estrutura projetada possui dois requisitos:

- Acoplar os coletores solares térmicos, conferindo a inclinação de 33° ;
- Ser possível a colocação sobre a laje, reduzindo ao mínimo a interferência com a cobertura.

Ambos os requisitos estão relacionados com a concepção geométrica da estrutura. Para a aquisição da inclinação pretendida é necessário dimensionar os perfis na medida certa, tendo em conta a dimensão do coletor térmico. A figura 96 ilustra a relação de dimensões entre os vários perfis metálicos.

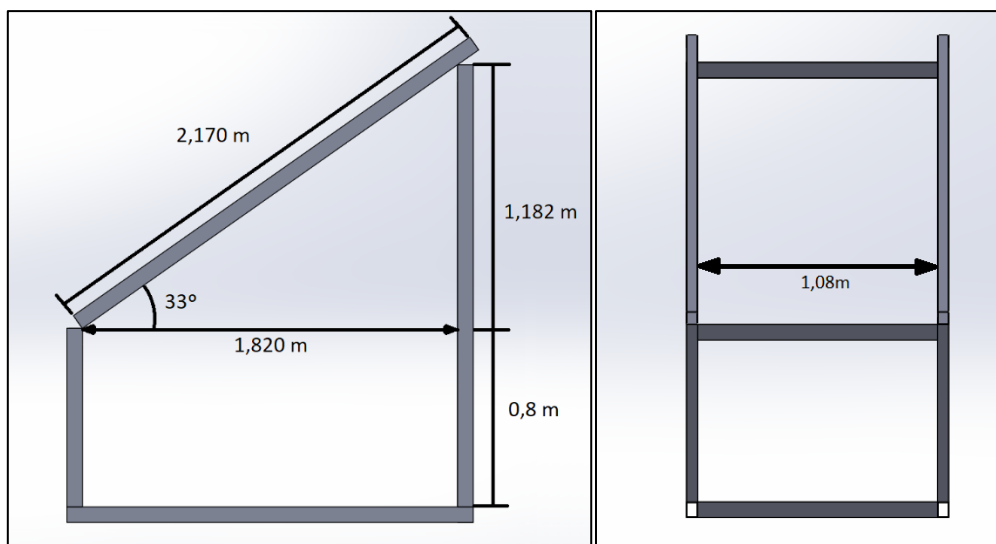


Figura 96 - Dimensionamento da estrutura de suporte. Fonte: Autoria do autor

Para o segundo requisito, foi necessário adicionar altura à estrutura de maneira a minimizar a interação com a cobertura. Desta maneira apenas os perfis verticais atravessam a cobertura. Na figura 97 é possível verificar o posicionamento da estrutura sobre a laje, tal como a necessidade de adição de altura.

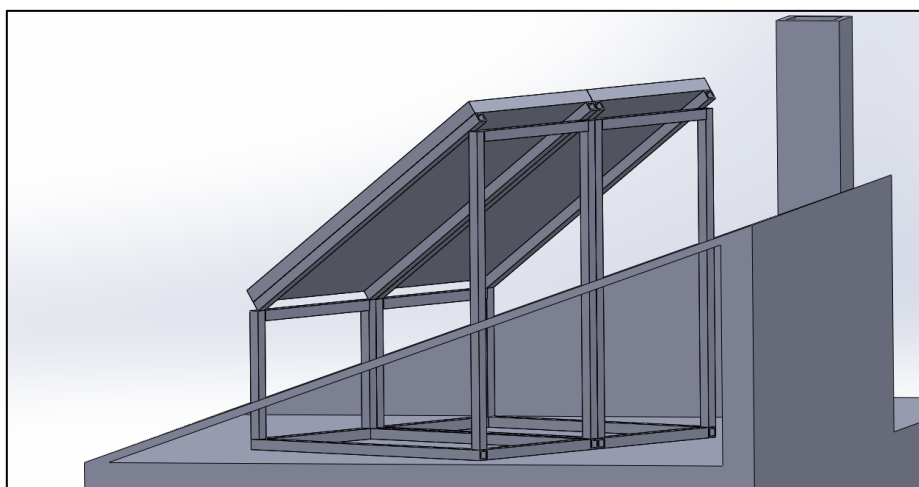


Figura 97 - Posicionamento da estrutura sobre a laje. Fonte: Autoria do autor

Uma consequência benéfica desta solução será o incremento de ventilação dos coletores solares. Ao adicionar-se altura, aumenta-se a área de passagem de ar nos coletores, o que favorece a ventilação e arrefecimento dos coletores. Como visto anteriormente, o rendimento dos coletores aumenta com o aumento do gradiente de temperaturas entre o fluido de trabalho e o fluido no interior dos depósitos de acumulação.

Devido à ação dos ventos, os coletores devem ser instalados a uma distância de segurança dos bordos da cobertura. O fabricante dos coletores recomenda as seguintes equações que definem as distâncias de segurança para o posicionamento dos coletores solares sobre a cobertura:

$$a = \frac{h \times 2}{10} \quad (19)$$

$$a = \frac{b}{10} \quad (20)$$

Em que:

a: distancia entre o bordo da cobertura e a zona segura de instalação;

h: altura máxima da cobertura;

b: comprimento máximo da cobertura.

Introduzindo os parâmetros do caso de estudo, obtém-se os seguintes valores:

$$a = 1,38 \text{ m}$$

$$a = 1,132 \text{ m}$$

Decide-se utilizar o menor valor obtido para delinear os limites laterais e superior, assegurando assim uma maior área de implantação. Na figura 98 é possível verificar os limites entre os quais serão instalados os coletores solares térmicos.

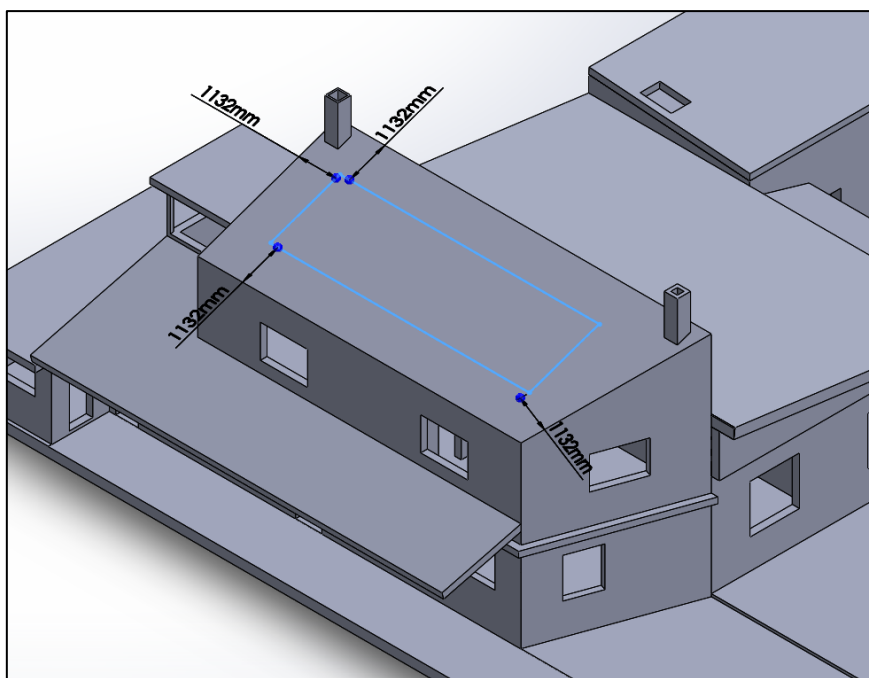


Figura 98 - Área de implantação dos coletores solares térmicos. Fonte: Autoria do autor

Delineada a área de implantação, os coletores juntamente com a estrutura metálica são colocados segundo a orientação estudada que melhor rendimento oferece à instalação. Porém, ao instalar os coletores segundo a orientação proposta, verifica-se que existem partes do conjunto que ficam fora dos limites delineados, como se pode verificar na figura 99. Porém, decide-se desprezar este facto por se considerar que a área de coletor que fica dentro dos limites é muito maior àquela que se encontra fora dos mesmos. Assim sendo, esta configuração não acrescenta insegurança à instalação. Os coletores são colocados do lado esquerdo dos limites estabelecidos, isto de maneira a ficarem mais próximos dos depósitos e assim reduzir as perdas de calor nas condutas.

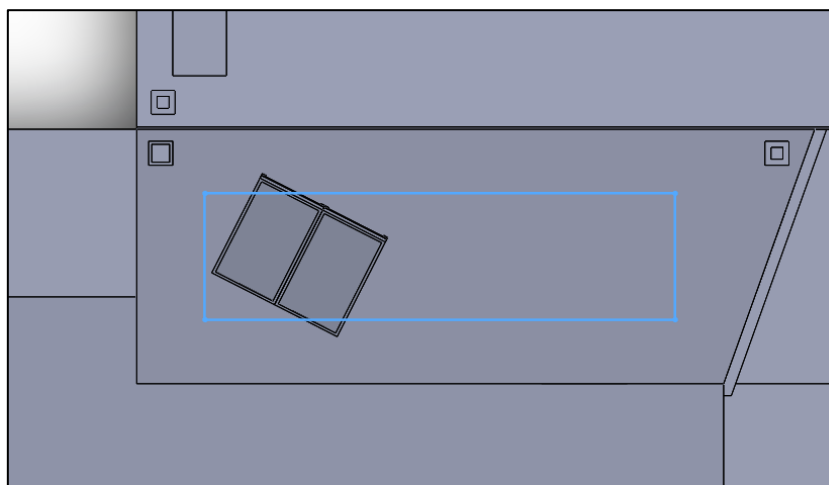


Figura 99 - Conjunto de coletores solares sobre os limites estabelecidos. Fonte: Autoria do autor

A escolha de utilizar uma estrutura para garantir o posicionamento otimizado dos coletores solares acrescenta um determinado custo ao projeto. Em seguida determina-se este custo. Para tal, é necessário determinar a quantidade de material necessário e estipular os custos desta matéria prima com base em valores praticados no mercado.

A quantidade de material é contabilizada com a soma dos vários elementos constituintes da estrutura. Nesta situação os vários elementos juntos equivalem a um perfil único com um comprimento de 17,86 m.

Uma vez determinada a quantidade de matéria prima necessária, parte-se para a aquisição desta mesma. A matéria prima escolhida é fornecida por uma empresa portuguesa especializada no ramo da siderurgia (Master Ferro). As características do perfil escolhido estão compreendidas na tabela 32.

Tabela 32 - Características do perfil estrutural escolhido

Material	Aço laminado
Dimensões (mm)	70x50x2
Custo (€/m)	4,98

Com as variáveis de quantidade e custo determinadas, passa-se à determinação do custo de material necessário para a montagem de uma estrutura.

- Custo por estrutura = 88,94 €

Como a instalação solar térmica dimensionado acomoda dois coletores solares, serão necessárias duas estruturas metálicas, uma para cada coletor. Assim sendo, o custo total será o seguinte:

- Custo total = 177,88 €

Neste custo não estão contabilizados os custos com o processo de corte dos perfis, processo de ligação entre os mesmos e mão de obra.

Tal como os coletores, também o posicionamento dos depósitos possui algumas limitações. De maneira a facilitar a manutenção destes componentes, é necessário garantir uma margem de segurança entre as paredes e os depósitos. A figura 100 ilustra os limites mínimos entre as paredes e os depósitos.

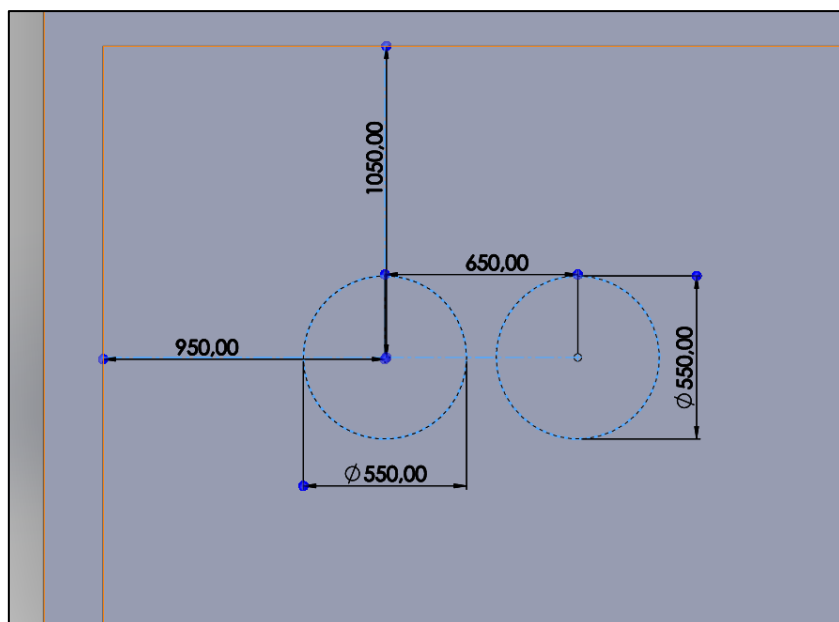


Figura 100 - Distâncias mínimas de segurança dos depósitos de acumulação (medidas em milímetros). Fonte: Autoria do autor

Estes elementos serão colocados num espaço não climatizado atualmente utilizado como oficina/lavandaria. As figuras 101 e 102 ilustram no mesmo plano os vários elementos que constituem a instalação solar térmica, numa tentativa de demonstrar o percurso efetuado pelo fluido entre os coletores e os depósitos. A escolha deste local recai sobre dois fatores: a minimização do percurso do fluido térmico e a instalação numa zona interior, mas sem a ocupação de espaço útil.

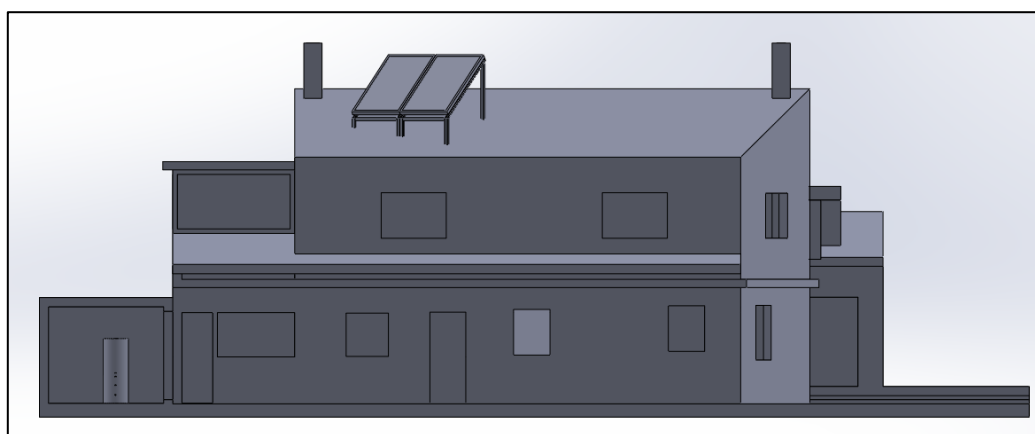


Figura 101 – Vista orientada a norte do edifício dotado da instalação solar térmica. Fonte: Autoria do autor

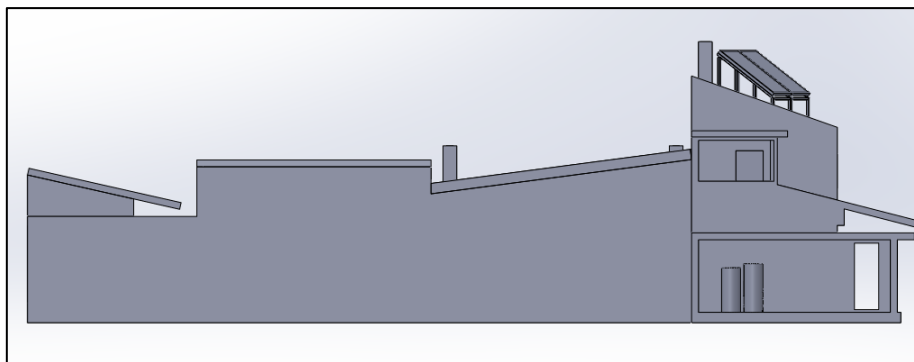


Figura 102 – Vista orientada a este do edifício dotado da instalação solar térmica. Fonte: Autoria do autor

Como última ferramenta de avaliação da instalação dimensionada, será feito um balanço dos custos e calculado o tempo de amortização do investimento realizado.

Para isso é realizado um apanhado dos custos monetários com os componentes escolhidos. A tabela 33 apresenta os valores de aquisição de cada componente e o número de componentes utilizados na instalação.

Tabela 33 - Custos dos componentes utilizados na instalação solar térmica

Componente	Custo unitário (€)	Nº de unidades
Coletor solar FKT-2S	780	2
Depósito SK 160-5 ZB	730	1
Depósito Waternox 1	860	1
Controlador B-SOL 100-2	200	1
Equipamento extra	1348	1
Estrutura de apoio	88,94	2

Custo total da instalação = 4876 €

Uma vez que o sistema irá consumir eletricidade para suprimir a falta de energia térmica captada, é necessário incluir este custo no balanço realizado. Como a instalação dimensionada possui um elemento de controlo, é possível programar a instalação de maneira a consumir energia durante o período de vazio, em que o preço por kWh é mais baixo. Os valores obtidos para o custo com a energia auxiliar são apresentados na tabela 34. Como termo de comparação, são também apresentados os valores referentes à energia de apoio consumida pela instalação sem estrutura de apoio e instalação com o campo solar ampliado.

Tabela 34 - Custo energético e monetário derivado da necessidade de apoio auxiliar

Número de coletores	2 Coletores Solares		3 Coletores Solares	
Caso	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2

Apoio (kWh/ano)	1165	1388	710	897
Custo (€/ano)	109,41	130,35	66,68	84,24

Conhecidos todos os custos intervenientes, procede-se ao cálculo da amortização do investimento realizado. Esta amortização é calculada tendo em conta o gasto anual com a aquisição de gás engarrafado, ou seja, quanto tempo levaria a pagar o investimento tendo em conta os gastos com gás. A equação utilizada é a seguinte:

$$\text{Tempo de amortização} = \frac{\text{Custo da instalação}}{\text{Custo com gás} - \text{Custo de energia de apoio}} \quad (21)$$

Os valores de amortização obtidos são apresentados na tabela 35.

Tabela 35 - Tempo de amortização para os vários casos estudados

Número de coletores	2 Coletores Solares		3 Coletores Solares	
Caso	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
Amortização (anos)	19	20	19	20

Verifica-se que a instalação de estruturas de apoio permite a amortizar o investimento mais rapidamente do que aqueles sem estrutura. Ainda assim, trata-se apenas de um ano de diferença entre os casos. Também se verifica que o acoplamento de mais um coletor solar em nada altera o tempo de amortização do sistema. Isto deve-se principalmente ao custo acrescido de aquisição do coletor.

Apesar do longo período necessário para a amortização do investimento realizado, continua a ser uma melhor solução do que a utilização de gás engarrafado. Basta comparar o valor gasto em gás ao fim dos 20 anos:

$$\text{Consumo de gás} = 19 \text{ anos} \times \frac{364\text{€}}{\text{ano}} = 6916 \text{ €} \quad (22)$$

$$\text{Poupança} = 6916\text{€} - 4876\text{€} = 2040\text{€} \quad (23)$$

Apesar da poupança monetária verificada, a mudança de uma fonte de energia com origem fóssil para uma fonte renovável por si só já acrescenta bastante valor à instalação dimensionada.

6.5.5 Instalação fotovoltaica

De maneira a proceder à geração de energia para consumo local, é realizado o dimensionamento de uma instalação fotovoltaica. Esta instalação tem como objetivo reduzir o consumo de energia da rede, tratando-se de uma instalação para autoconsumo.

Tal como a simulação dos ganhos solares térmicos, o SolTerm efetua também a simulação da energia elétrica produzida com base na radiação solar captada. Como tal será efetuado um estudo semelhante ao realizado para a instalação térmica, mas agora com vista à produção de energia fotovoltaica.

Numa primeira fase, foi feito um apuramento do material essencial para a conceção da instalação fotovoltaica.

A instalação será conectada à rede de distribuição pelo que terá de possuir as características necessárias para injetar energia diretamente na rede de distribuição. Estas características prendem-se com a natureza da energia que é produzida pela instalação em termos de corrente elétrica, diferença de potencial e frequência. Para tal é necessário escolher um inversor que converta a eletricidade gerada pelos painéis de corrente contínua para corrente alternada.

Para a escolha do inversor, optou-se por eleger um aparelho do tipo micro inversor. Após alguma pesquisa acerca dos micro inversores disponíveis no mercado, o modelo escolhido foi o seguinte:

- Empresa: APSsystems;
- Modelo: YC500A Microinverter.

As demais características podem ser encontradas na folha de dados disponibilizada e que se encontra em anexo. É de acrescentar que este modelo é capaz de acoplar dois painéis fotovoltaicos com uma potência gerada em conjunto até 500W.

Com o valor de 500W em mente, será necessário fazer a escolha dos painéis fotovoltaicos, capazes de produzir a potência necessária. Como esta instalação será de injeção na rede, a tensão imposta pelo painel pode ser a mais baixa da gama (12V). Caso se tratasse de uma instalação autónoma sem ligação à rede, a tensão escolhida teria de ser no mínimo de 24V para poder efetuar o carregamento de baterias de forma eficiente.

Tal como a escolha do inversor, foi feita uma busca pelos diversos modelos de painéis fotovoltaicos presentes no mercado, tendo em conta a potência pico entregue pelo painel. O modelo escolhido foi o seguinte:

- Empresa: Mitsubishi;
- Modelo: PV-MLU255HC.

Este modelo possui uma potência pico de 255Wp, estando dentro da potência recomendada pelo fornecedor do inversor. As demais características do painel encontram-se na folha de dados disponibilizada e que se encontra em anexos.

Escolhidos os principais intervenientes da instalação fotovoltaica, parte-se agora para a simulação dos ganhos ao longo do ano. O primeiro passo para a simulação será escolher o local de implementação do sistema. Foi então escolhido o clima referente ao concelho do Seixal, obtendo-se os seguintes valores apresentados na figura 103, retirada diretamente do programa Solterm.

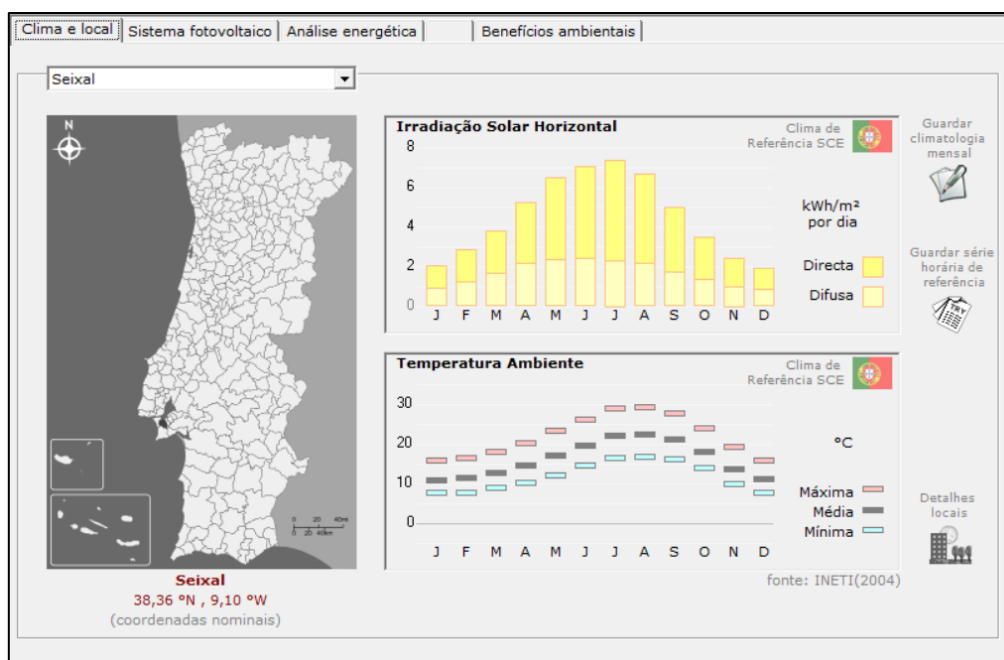


Figura 103 – Informação referente à localização de implementação da instalação fotovoltaica

Feita a seleção do local onde se situa a instalação, segue-se para a escolha dos equipamentos que compõem a instalação.

Esta trata-se de uma instalação de baixa tensão ligada à rede de distribuição, sendo necessário seleccionar esta opção no programa. Uma vez seleccionado o tipo de instalação, é apresentado o esquema de uma instalação com os equipamentos necessários à sua elaboração, ilustrado na figura 104.

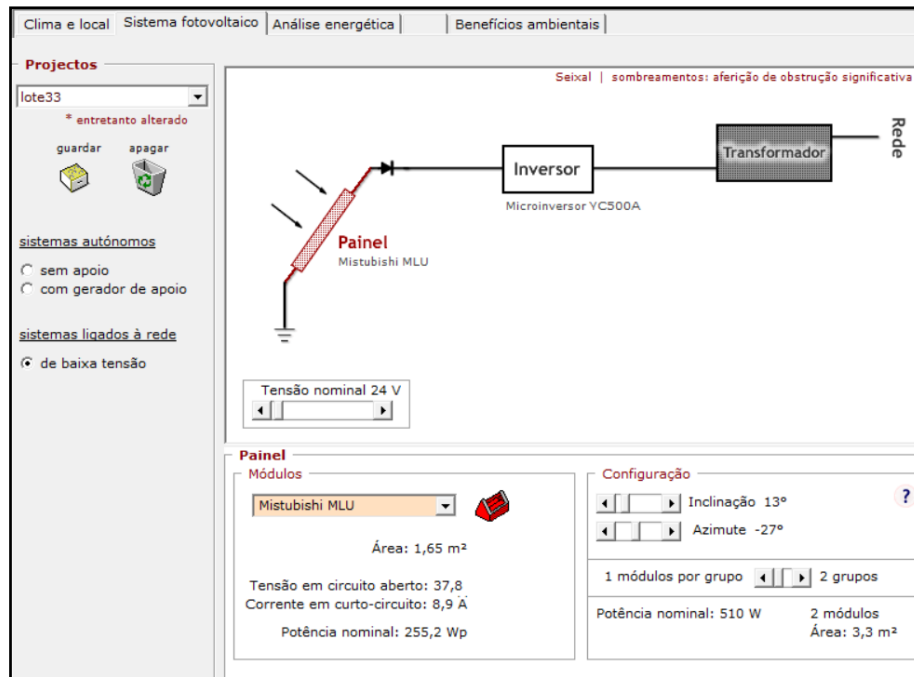


Figura 104 – Esquema da instalação escolhida

Selecionando cada equipamento, é possível verificar algumas das características do mesmo, tal como a configuração da inclinação, o azimuth, o número de módulos a instalar, a potência nominal e a área ocupada pela instalação.

Para uma simulação mais exata, é necessário introduzir os equipamentos e as referentes características. Os valores introduzidos referentes ao painel escolhido estão ilustrados na figura 105.

Editor de módulos fotovoltaicos

em arquivo
Mitsubishi MLUteste

Tecnologia
☐ Si amorfo
☒ Si monocristalino
☐ Si policristalino
☐ outra

Características geométricas
 Área m²

Características térmicas
 NOCT °C
 Sensibilidade à temperatura:
 da corrente A/°C
 da tensão V/°C

Características eléctricas
 Tensão nominal V
 Tensão @ potência máxima V
 Corrente @ potência máxima A
 Tensão @ circuito aberto V
 Corrente @ curto-circuito A
 Resistência das células @ paralelo Ω
 Resistência das células @ série Ω
 Número de células em série
 Factor de idealidade da curva I-V

apagar guardar sair

Figura 105 – Valores referentes ao modulo fotovoltaico escolhido

Da mesma forma introduz-se o inversor escolhido com as devidas características requisitadas. A figura 106 ilustra a Editor de inversores DC/AC com os parâmetros do inversor escolhido.

Editor de inversores DC/AC

em arquivo
Microinversor YC500A

Características eléctricas
 Potência nominal W
 Eficiência nominal 95%
 Potência @ 10% da carga W
 Eficiência @ 10% da carga 89%

apagar guardar sair

Figura 106 – Valores referentes ao inversor escolhido

Feita a escolha do equipamento e introdução dos parâmetros necessários, é realizada a análise energética do sistema. O programa entrega diversos valores correspondentes à radiação captada pela instalação E(rad), energia produzida pelos painéis fotovoltaicos E(FV) e a energia que é entregue pelo inversor E(sist). Cada valor corresponde ao total que é produzido num determinado mês do ano. Na figura 107 é possível verificar os valores de energia produzida, tal como do rendimento global da instalação.

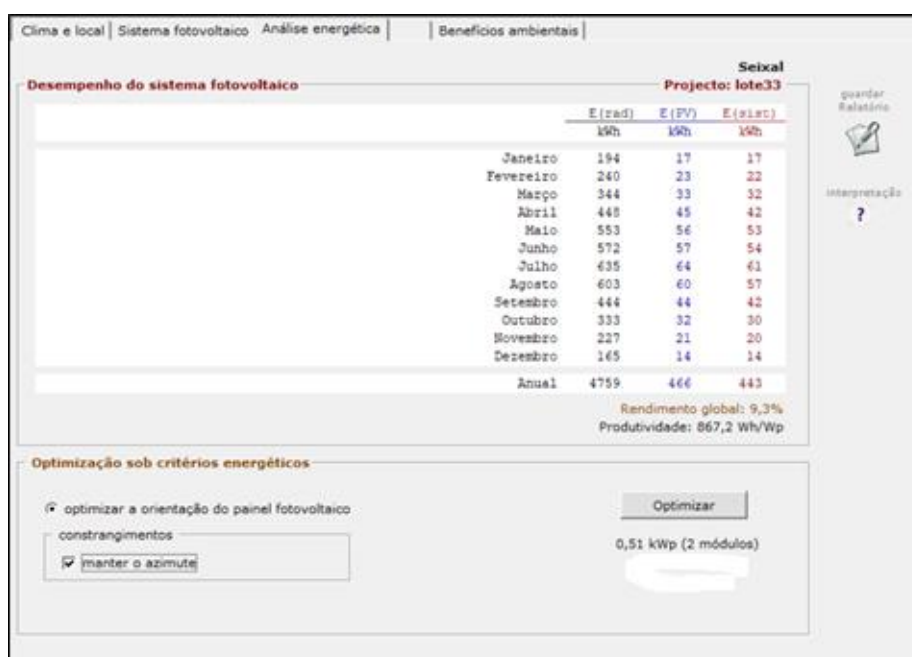


Figura 107 – Desempenho do sistema fotovoltaico

Os valores obtidos são referentes a um inversor com dois painéis acoplados. O fabricante do inversor recomenda até um número de sete inversores por *string*, ou seja, ligados em serie e conectados a um disjuntor de 20A. Foi simulada a produção energética da instalação, incrementando um par de painéis fotovoltaicos e o respetivo inversor, isto com o intuito de entender quais os ganhos obtidos pelo equipamento escolhido.

Uma variável importante a nível de eficiência, tal como a nível de custos monetários, será a implantação de uma estrutura que ofereça a posição ideal aos painéis para a captação da luz do sol, tendo em conta as necessidades sazonais. Numa primeira situação (Caso 1) os painéis fotovoltaicos são colocados com uma inclinação de 13° e um azimute de -27°. Estes valores correspondem à implantação dos painéis fotovoltaicos perpendicularmente à cobertura do edifício.

A figura 108 demonstra a produção energética anual com a instalação tendo em conta o número de painéis instalados.

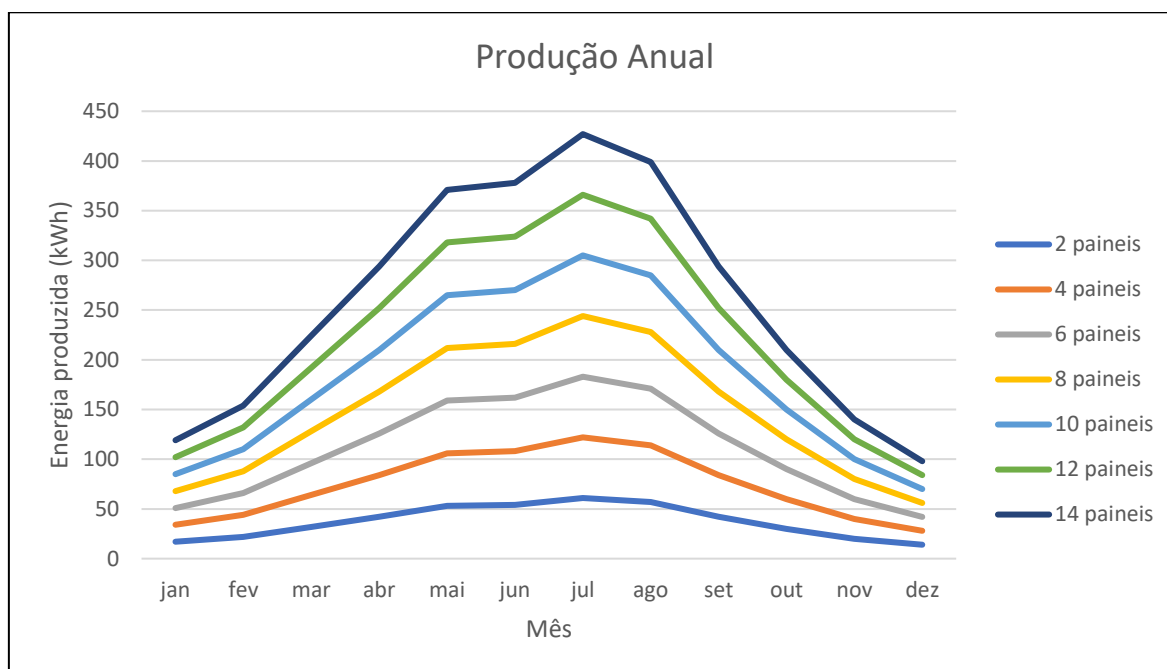


Figura 108 - Inclinação: 13°, azimute: -27° (Caso de estudo)

Foi simulado um segundo caso (Caso 2) em que os painéis fotovoltaicos são acoplados a uma estrutura que lhes confere a posição mais favorável a ganhos energéticos com vista às necessidades sazonais. Esses valores correspondem a uma inclinação no painel de 33° e direcionado a sul, ou seja, um azimute de 0°.

A figura 109 demonstra a produção anual referente à instalação com os painéis dispostos segundo a orientação ótima.

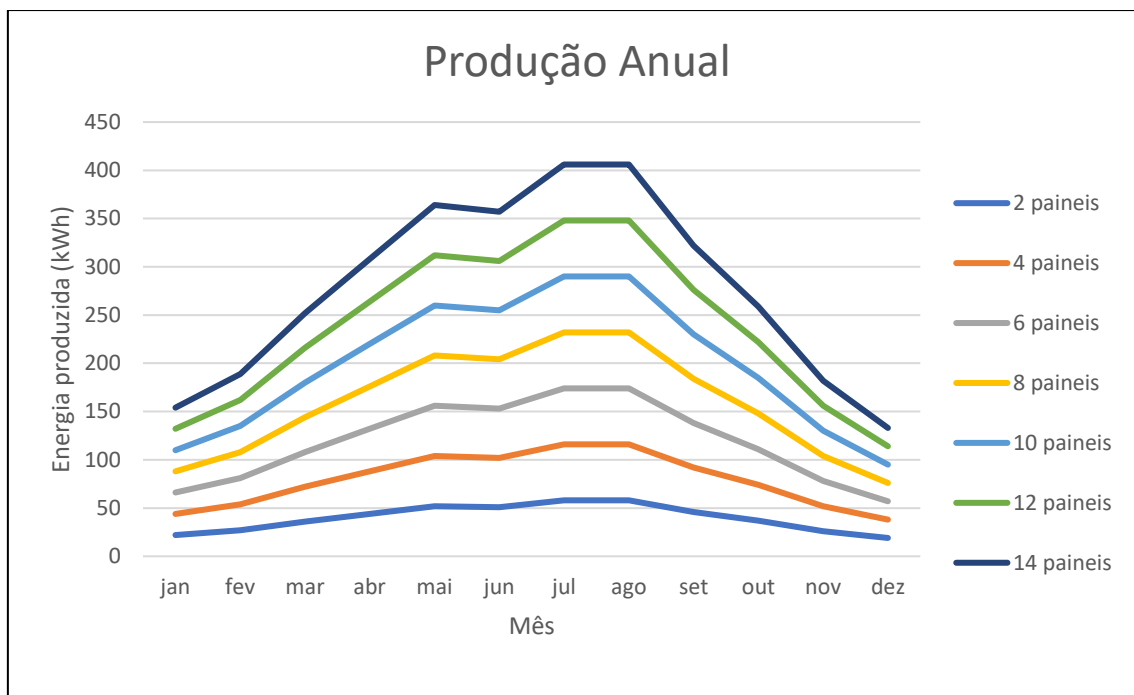


Figura 109 - Inclinação: 33°, azimuth: 0° (Caso ótimo)

É possível verificar que não existem grandes diferenças na energia total produzida em ambos os casos. Existem, porém, diferenças na energia gerada nas diferentes estações do ano.

No Caso 1 é possível verificar uma maior produção durante a estação quente comparativamente ao Caso 2.

No Caso 2 é durante a estação fria que existe uma maior produção comparativamente ao Caso 1.

Nesta situação, é necessário realizar a escolha do número de painéis fotovoltaicos a instalar e qual a orientação mais benéfica. Esta escolha tem como fundamento as necessidades a suprimir e qual a estação do ano em que será mais necessário o sistema intervir. Também o custo associado à instalação deverá ser um fator de escolha, visto que os ganhos energéticos de ambas as instalações não são muito dispares.

É escolhido o consumo do ano de 2019 como base para o cálculo das necessidades energéticas a satisfazer. Em seguida é realizado um apanhado dos consumos durante a tempo de produção fotovoltaica. Uma vez que a instalação não possui elementos para o armazenamento energético, apenas é possível consumir a eletricidade durante a sua

produção. Como esta produção realiza-se durante o horário solar, é realizada a diferenciação entre horário de verão e de inverno. O horário solar utilizado para cada estação encontra-se apresentado na tabela 36.

Tabela 36 - Horário solar utilizado no cálculo do consumo energético

Estação	Horário
Verão	6:00 - 19:00
Inverno	8:00 – 17:00

Tendo determinado o período horário do consumo a estudar, é realizada a comparação entre esse consumo e a produção da instalação fotovoltaica. Numa primeira abordagem é utilizada a orientação da cobertura onde será inserida a instalação fotovoltaica (inclinação de 13° e um azimute de -27°). A figura 110 apresenta os resultados obtidos.

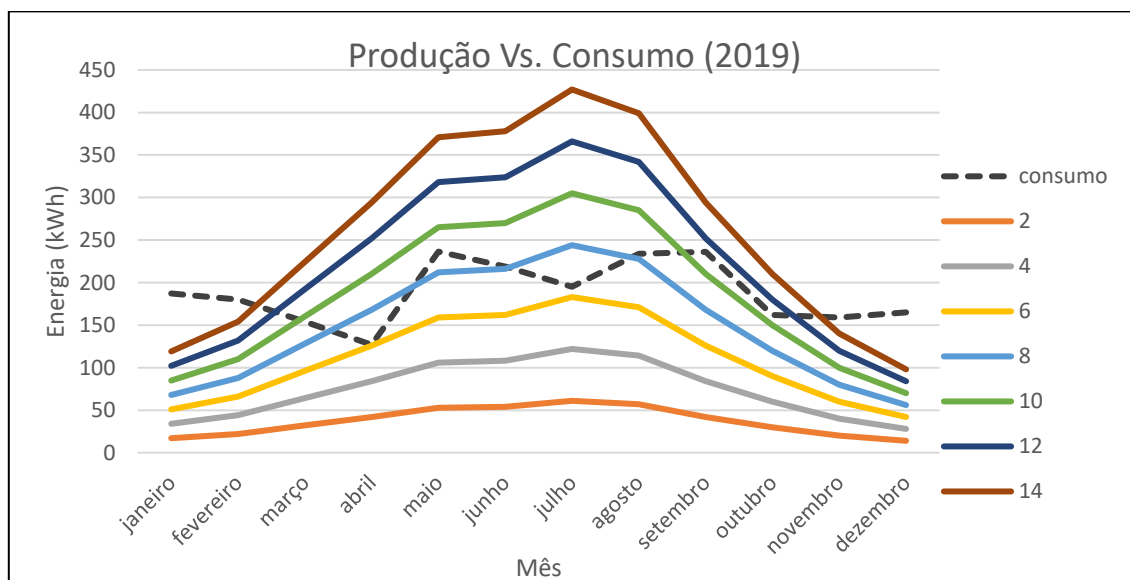


Figura 110 - Produção energética Vs. consumo durante o período solar

Numa análise visual ao gráfico obtido é possível concluir que a instalação com 2 ou 4 painéis fotovoltaicos pouco vai influenciar na satisfação dos consumos energéticos. É também possível verificar que a instalação com 12 ou 14 painéis irá produzir energia em excesso que não será consumida. Uma vez que esta instalação será destinada ao autoconsumo sem venda de excedente à rede, estas duas situações (12 e 14 painéis) poderão ser desvantajosas.

De forma a tirar conclusões mais assertivas acerca dos valores obtidos, é realizado um estudo à poupança monetária introduzida pela geração de energia. Para o cálculo desta poupança é tido em conta as diferentes tarifas da energia durante o período de produção.

Como ilustrado no subcapítulo dedicado aos consumos, a tarifa da energia é diferente dependendo da hora e dia a que esta é consumida. Como tal, é realizada a diferenciação entre a energia produzida durante o período de vazio e fora do vazio. Com estes valores definidos, é feito um balanço de energia produzida que é realmente consumida, sendo depois multiplicada pelo preço por kWh definida pela empresa de distribuição. A tabela 37 apresenta o valor que é poupado anualmente dependendo do número de painéis fotovoltaicos instalados.

Tabela 37 - Poupança anual devido à instalação de painéis fotovoltaicos para a produção de energia

Número de painéis fotovoltaicos	Poupança monetária anual (€)
2	93,57
4	168,03
6	242,48
8	301,85
10	336,11
12	354,74
14	366,98

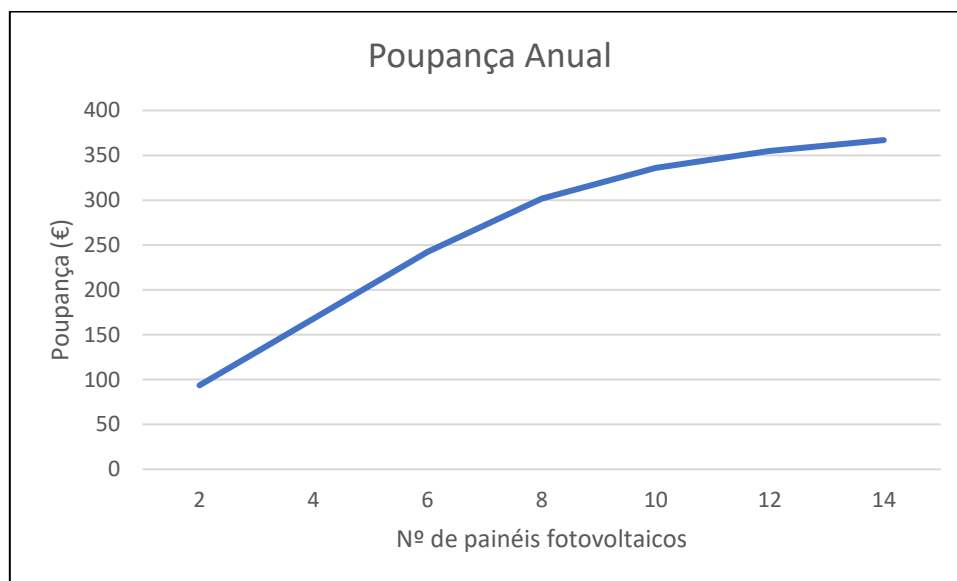


Figura 111 - Evolução da curva de poupança anual

Avaliando os valores obtidos e ilustrados na figura 111, é possível verificar que a poupança anual obtida evolui de maneira não linear em alguns pontos do gráfico. Verifica-se que a partir da instalação de oito painéis, o aumento da energia consumida devido ao incremento do número de painéis começa a diminuir. Isto deve-se ao facto de que a energia gerada para consumo ultrapassa as necessidades impostas, dando origem a energia produzida, mas não consumida.

Um último parâmetro de avaliação da instalação fotovoltaica trata-se do tempo de amortização do investimento, ou seja, o tempo necessário para que a instalação comece a produzir lucro. Para o cálculo do retorno, é necessário contabilizar os custos com componentes. A tabela 38 discrimina os componentes utilizados e os respectivos custos monetários.

Tabela 38 - Custo dos componentes necessários na instalação fotovoltaica

Componente	Custo unitário (€)
Painel Fotovoltaico	383
Micro inversor	221,68
Controlador	120
Extras	33

Definidos os custos unitários de cada componente, é calcula o custo da instalação tendo em conta o número de painéis fotovoltaicos utilizados, relembrando que a adição de um par de painéis requer a introdução de um micro inversor adicional. Os valores obtidos por instalação estão dispostos na tabela 39.

Tabela 39 - Custo da instalação de acordo com o numero de painéis fotovoltaicos instalados

Nº de painéis	Nº de inversores	Custo da instalação (€)
2	1	1140,68
4	2	2128,36
6	3	3116,04
8	4	4103,72
10	5	5091,4
12	6	6079,08
14	7	7033,76

O cálculo da amortização é feito comparando o custo da instalação (tabela 39) com o valor da poupança anual (tabela 37), determinando em quantos anos o valor acumulado das poupanças perfaz o valor do investimento. No entanto é necessário tem em conta a degradação anual dos painéis fotovoltaicos. Esta degradação afeta diretamente a produção, podendo diminuir o seu valor até 1% a cada ano [24]. Sem informação acerca deste parâmetro por parte do fornecedor dos painéis fotovoltaicos, é admitido um valor de degradação de 1% por ano.

Calculada a produção fotovoltaica tendo em conta a degradação anual dos painéis, procede-se ao cálculo do tempo necessário para amortização do investimento realizado para aquisição da instalação fotovoltaica. Os valores obtidos são apresentados na tabela 40, tal como a curva característica, representada pela figura 112.

Tabela 40 - Tempo para amortização da instalação tendo em conta o número de painéis fotovoltaicos instalados

Nº de painéis	Tempo de Amortização (anos)
2	13
4	14
6	14
8	15
10	16
12	18
14	20

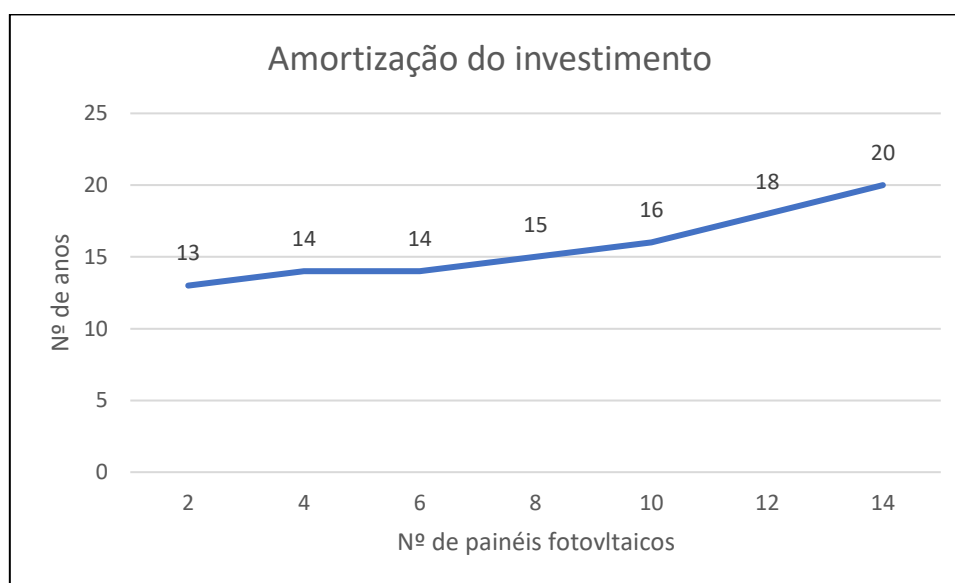


Figura 112 - Curva referente ao tempo de amortização da instalação fotovoltaica

Analisando os valores obtidos, é possível chegar a diversas conclusões.

Começando pelo caso com 2 painéis fotovoltaicos, apesar de ser a instalação com menor custo, o tempo de retorno apenas difere um ano em comparação com os dois casos seguintes. Esta situação aliada à baixa poupança gerada (tabela 37) torna este caso pouco interessante a nível de produção energética e rentabilidade pós amortização, pelo que não será recomendada a sua implementação.

Segue-se para o caso com 4 painéis fotovoltaicos. Comparando o tempo de amortização, verifica-se que uma instalação com 4 e outra com 6 painéis irão demorar o mesmo tempo a amortizar. Isto coloca a instalação de 4 painéis em desvantagem de produção energética e consequente retorno na situação pós amortização. Tal como no caso anterior, não é recomendada a instalação de apenas 4 painéis fotovoltaicos.

A instalação com uma configuração de 6 ou 8 painéis fotovoltaicos representa a melhor solução tanto a nível de poupança monetária (figura 111) como a nível de amortização. Estas soluções representam a produção necessária para os consumos

estudados, sendo aconselhável a sua aplicação para a situação de produção para autoconsumo.

A instalação com uma configuração de 10 painéis fotovoltaicos representa uma solução com resultados semelhantes aos dois casos anteriores, no entanto introduz um maior desperdício de energia (energia produzida e não consumida) o que se traduz numa menor eficiência energética. Porém, na situação de se verificar um aumento nos consumos energéticos durante o período de produção, esta solução pode ser mais benéfica do que as configurações com 6 ou 8 painéis.

Para o caso da instalação com 12 ou 14 painéis, como visto anteriormente esta configuração produz mais energia do que aquela que é consumida, o que diminui a eficiência energética da instalação. O fornecedor dos painéis fotovoltaicos oferece a garantia da produção de energia durante 25 anos. Tendo em conta o tempo de amortização calculado, a margem para lucro seria apenas de 7 anos para a instalação com 12 painéis e de 5 anos para a instalação com 14 painéis. Assim sendo, é desaconselhada a instalação deste número de painéis no caso em estudo.

É agora comparado o caso em que os painéis fotovoltaicos são colocados na posição de captação ideal (inclinação 33° e orientação 0° a sul). A comparação é feita utilizando o tempo de amortização da instalação, apresentado na figura 113.



Figura 113 - Curva referente ao tempo de amortização da instalação fotovoltaica posicionada na orientação ótima

É possível verificar que existe um atraso de um ano no tempo de amortização em alguns dos cenários estudados. Isto deve-se ao acréscimo no custo devido à aquisição de estruturas de apoio aos painéis. Conclui-se que neste caso, o posicionamento ideal dos painéis solares acaba por não compensar a nível de amortização da instalação. Como tal, o dimensionamento prossegue com o posicionamento dos painéis fotovoltaicos diretamente sobre a cobertura do edifício.

Os painéis fotovoltaicos serão então colocados paralelamente à cobertura. Uma vez que já existem coletores solares térmicos instalados na cobertura do edifício principal, a instalação dos painéis fotovoltaicos será feita sobre a cobertura mais a norte, como ilustra a figura 114.

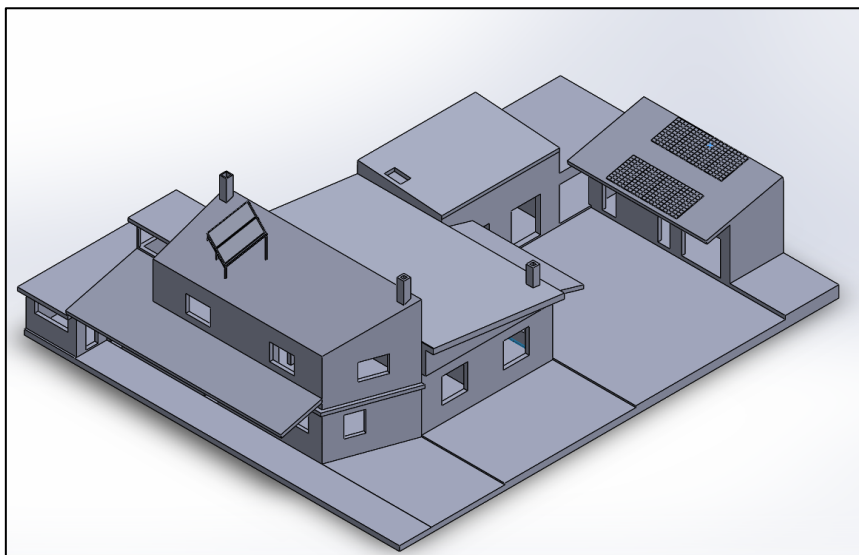


Figura 114 - Posicionamento dos painéis fotovoltaicos. Fonte: Autoria do autor

De maneira a possibilitar a manutenção dos painéis e dos micro inversores neles inseridos, é criado um espaçamento entre a fileira superior e a inferior, como ilustrado na figura 115.

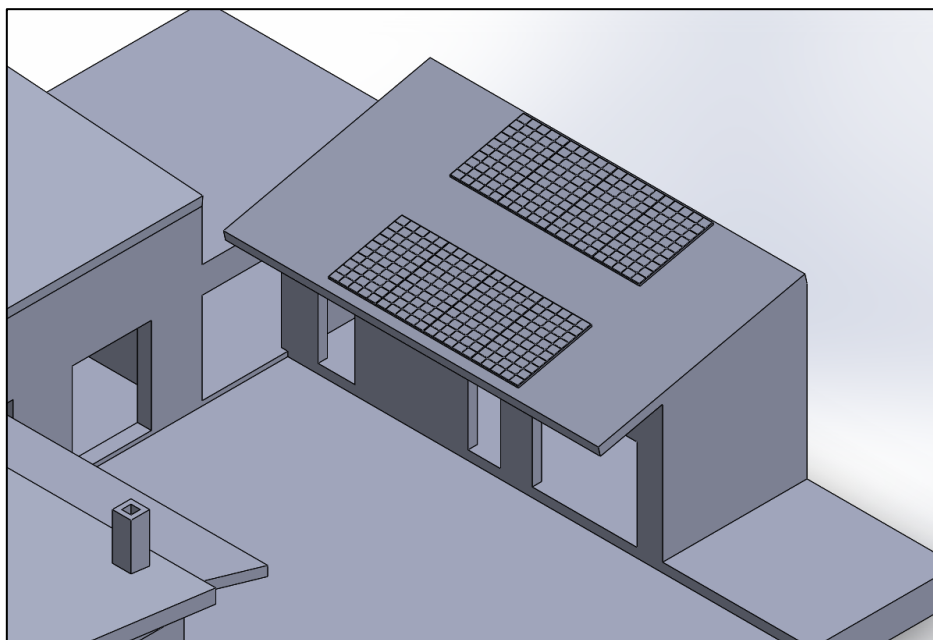


Figura 115 - Espaçamento entre fileiras para manutenção dos painéis e micro inversores. Fonte: Autoria do autor

6.6 Conclusões

Na tabela 41 é apresentado um resumo dos elementos abordados no caso de estudo e que foram sujeitos a intervenção com fim ao melhoramento do desempenho a nível energético.

Tabela 41 - Síntese do caso de estudo

Necessidade	Solução atual	Solução dimensionada
Isolamento das paredes	Paredes simples sem isolamento	Isolamento pelo exterior: sistema ETICS
Vãos	Vãos envidraçados simples com caixilharia em alumínio	Vãos envidraçados duplos com vidro de baixa emissividade + caixilharia em PVC dotada de corte térmico
Ventilação das chaminés	Conduta aberta para o exterior; Chaminé desocupada	Chapéu de chaminé em H; Estancamento da chaminé
AQS	Esquentadores a gás	Sistema solar térmico: 2 coletores solares + 2 depósitos de acumulação + estruturas de apoio
Produção elétrica	-	Sistema solar fotovoltaico: 8 painéis fotovoltaicos + 4 micro inversores

Para o caso do isolamento de paredes e da ventilação das chaminés, as soluções propostas passam pela integração de certos elementos aos sistemas já existentes, tratando-se de soluções complementares.

No caso dos vãos e das AQS, as soluções existentes são substituídas por um sistema distinto.

Em relação à produção de energia elétrica, ao momento não existe nenhuma solução que execute essa tarefa, pelo que o sistema dimensionado é considerado como uma nova solução implementada.

A intervenção dimensionada para as paredes e vãos teve como principal objetivo o melhoramento do nível de isolamento destes elementos. A tabela 42 apresenta os valores

de coeficiente de transmissão térmica referentes a estes elementos nas diversas etapas do projeto: antes da intervenção, após intervenção e o valor de referência da legislação.

Tabela 42 - Valores de U das paredes e vãos envidraçados nas diferentes etapas do projeto

Elemento	U* antes da intervenção (W/m ² °C)	U* depois da intervenção (W/m ² °C)	Valor de referência (W/m ² °C)
Paredes	1,68	0,5	0,5
Vãos envidraçados	4,8	1,54	2,8

*Valor médio de todos os elementos considerados.

O sistema solar térmico dimensionado teve com o propósito a substituição da atual solução que utiliza energia de origem fóssil como fonte energética. Com esta intervenção, as necessidades de AQS puderam ser suprimidas quase integralmente por uma fonte renovável, sendo o valor da fração solar superior ao valor da energia de apoio utilizada. A tabela 43 apresenta o rendimento obtido pelo sistema solar térmico dimensionado.

Tabela 43 - Fração solar da instalação solar térmica dimensionada

Energia fornecida anualmente	Energia de apoio
74,6%	25,4%

O sistema solar fotovoltaico dimensionado surge como a primeira solução referente à geração de energia para consumo local. Esta trata-se de uma unidade de produção local para autoconsumo, conectada à rede de distribuição e sem qualquer tipo de armazenamento. Com isto, é definido que esta energia deve ser consumida durante o período de produção, sem que haja qualquer retorno da energia excedente que é injetada na rede. A figura 116 ilustra a produção energética realizada pela instalação dimensionada sobreposta com o consumo de energia estimado do ano de 2019.

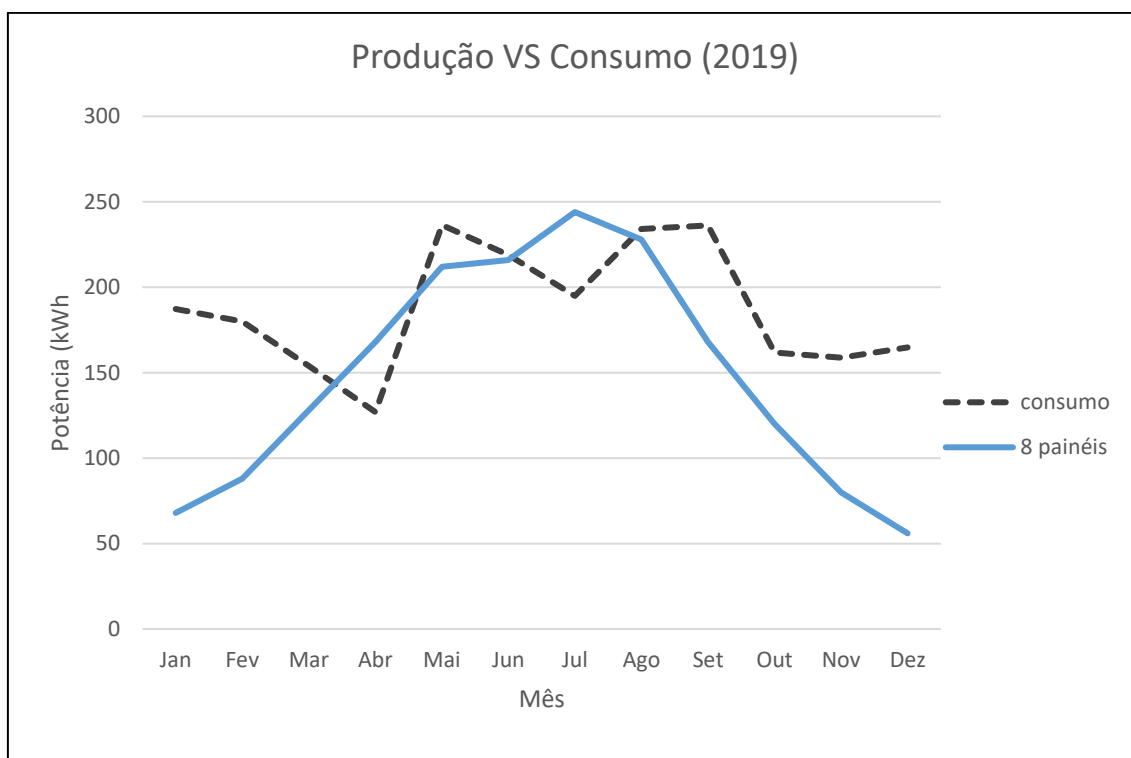


Figura 116 - Produção de energia da instalação dimensionada VS o consumo de energia no ano de 2019

Na tabela 44 é apresentada a percentagem do consumo energético que é satisfeito pela instalação fotovoltaica nos diferentes meses do ano.

Tabela 44 - Percentagem do consumo satisfeito pela instalação fotovoltaica dimensionada

Mês	Consumo satisfeito
Janeiro	36%
Fevereiro	49%
Março	83%
Abril	100%
Maio	90%
Junho	99%
Julho	100%
Agosto	97%
Setembro	71%
Outubro	74%
Novembro	50%
Dezembro	34%
Média anual	74%

Um critério tomado em consideração foi o custo monetário de aquisição dos componentes necessários aos sistemas dimensionados. Estes valores permitem obter uma estimativa real do custo de cada sistema, permitindo avaliar cada solução a nível de

viabilidade económica. A tabela 45 apresenta um sumário dos custos associados aos sistemas dimensionados.

Tabela 45 - Resumo dos custos associados aos sistemas dimensionados

Sistema	Custo (€)
Isolamento exterior	8787,12
Vãos	4899,00
Chapéu para chaminés	28,60
Sistema solar térmico	4876,00
Sistema solar fotovoltaico	4103,72
Total	22.694,44

Como ferramenta de avaliação a nível económico, foram estudados os tempos de retorno do investimento de alguns dos sistemas dimensionados, em concreto o sistema solar térmico e o sistema solar fotovoltaico. A tabela 46 apresenta as estimativas obtidas para o tempo de retorno do investimento realizado.

Tabela 46 - tempo de retorno dos sistemas dimensionados (solar térmico e solar fotovoltaico)

Sistema	Retorno (anos)
Sistema solar térmico	19
Sistema solar fotovoltaico	15

Em relação à instalação das soluções propostas, prevê-se que esta seja feita faseadamente no tempo. Como tal, é proposta uma sequência de ações tendo como base os benefícios diretos na eficiência energética do edifício tal como os benefícios económicos aliados a cada solução:

1. Reabilitação das chaminés;
2. Sistema solar térmico;
3. Sistema solar fotovoltaico;
4. Vãos;
5. Isolamento das paredes pelo exterior.

Como primeira ação é recomendada a reabilitação das chaminés. Como visto anteriormente, as chaminés são uma fonte de trocas de calor com o exterior, ainda mais quando estas encontram-se num estado improprio para o bom funcionamento, como verificado no caso de estudo. A nível económico, a instalação desta solução não viabiliza a instalação das soluções seguintes, uma vez que os custos de aquisição são bastante inferiores quando comparados com os custos das restantes soluções.

Em seguida é recomendada a instalação do sistema solar térmico. Importa que este sistema seja instalado prontamente por duas razões: a nível energético tem-se a substituição imediata de uma fonte de energia com origem fóssil e a nível económico tem-se o retorno do investimento realizado, que como visto anteriormente, apenas assumirá um valor positivo ao fim de 19 anos.

O mesmo raciocínio aplica-se ao sistema solar fotovoltaico. Aqui a redução da utilização de fontes de energia fósseis não é tão clara. No entanto, considerando que parte da energia da rede de distribuição advém de aproveitamentos fósseis, esta continua a ser uma solução com vantagens a nível energético. Do ponto de vista económico e tal como o sistema térmico, quanto mais cedo for colocada em funcionamento, mais cedo se dará o retorno do investimento realizado.

As soluções para os vãos e as paredes são colocadas em último por serem soluções que não possuem retorno direto no investimento realizado. Esta são soluções com vista ao melhoramento das qualidades interiores do edifício, influenciando na redução de necessidades relacionadas com a climatização do espaço interior. Em termos de eficiência energética do edifício, importa que a intervenção seja realizada primeiramente nos vãos envidraçados, que como visto anteriormente, possuem uma eficiência bastante abaixo dos valores recomendados. Além disso, o custo de aquisição é também menor quando comparado com o custo para a aplicação de isolamento nas paredes exteriores do edifício.

Capítulo 7 – Conclusão

7.1 Considerações finais

A qualidade dos edifícios de habitação e do conforto a eles associado tem vindo a aumentar nos últimos anos. Uma serie de necessidades tais como o conforto térmico, confeção e conservação dos alimentos, necessidades ligadas à higiene, tal como o uso de equipamentos eletrodomésticos e de entretenimento são comodidades que foram sendo postas gradualmente à disposição dos utilizadores dos edifícios de habitação. Contudo, este nível mais elevado de conforto traduz-se normalmente num acréscimo de investimento e num maior consumo de energia com repercussão no aumento da emissão de gases que contribuem para o aquecimento global.

O consumo de energia no sector doméstico depende diretamente do rendimento disponível das famílias. O crescimento sustentado deste indicador, com forte impacto na posse e utilização de aparelhos consumidores de energia, tem sido um dos motores da crescente procura de energia elétrica no sector. Outra causa do aumento dos consumos de energia reside na multiplicidade de pequenas e grandes ineficiências resultantes quer dos próprios equipamentos consumidores utilizados nos edifícios, quer dos procedimentos e hábitos de utilização desses equipamentos. Os cidadãos devem ter um papel ativo na utilização eficiente da energia, adotando medidas simples de executar, tais como:

- Comportamentos diários inteligentes e sustentáveis na utilização de sistemas e equipamentos que consomem energia;
- Seleção cuidadosa dos sistemas e equipamentos tendo em consideração a informação existente na etiqueta referente ao consumo de energia, adquirindo os produtos mais eficientes a nível energético;
- Adoção de soluções que permitam o aproveitamento energético de uma fonte renovável tendo como finalidade o consumo local;
- Melhoria da eficiência energética dos sistemas instalados no edifício, sejam eles consumidores ou geradores de energia.

É necessário ter presente que os edifícios residenciais são utilizados por um universo de mais de 10 milhões de consumidores, existindo alguma inércia na adoção de padrões eficientes de consumo de energia devido, não só a razões comportamentais dos consumidores, como também ao período necessário para a substituição dos equipamentos e progressiva reabilitação dos edifícios.

7.2 Considerações do autor

Esta dissertação teve o objetivo de abordar alguns dos temas mais importantes para o funcionamento eficiente dos edifícios a nível energético. Mais do que um estudo científico, este documento funciona como um manual direcionado ao leitor, tendo como fim informar e instruir acerca das necessidades existentes em edifícios habitacionais, das possíveis soluções que suprimam essas necessidades e dos diferentes tipos de aproveitamentos energéticos que podem ser realizados localmente.

No desenvolvimento do presente projeto, o autor empenhou-se em manter um determinado nível de simplicidade no texto e na apresentação de resultados de maneira a ser perceptível a qualquer leitor, independentemente da sua formação ou conhecimentos sobre os tópicos abordados. Evitou-se também a introdução de fórmulas e equações meramente explicativas, utilizando apenas formulas simplificadas que expliquem determinado fenómeno abordado. Considerou-se que este tipo de informação provoca o desinteresse por parte de leitores cujo conhecimento não abrange este tipo de matéria. Tentou-se também explorar ao máximo a utilização de figuras e tabelas de forma a tornar os conteúdos perceptíveis de diferentes formas.

O autor considera que este tipo de conteúdo deve ser difundido não só na comunidade científica, mas em qualquer comunidade e indivíduos que se revejam com o tópico da energia em edifícios. Este tipo de informação não deve de ser exclusiva apenas para determinada classe operária ou académica, fazendo todo o sentido que o cidadão comum possua o mínimo de conhecimento acerca da maneira como se processa a utilização de energia no edifício onde habita. Desta maneira o processo de transição do mercado energético poderá proceder-se de diferente forma, sendo o próprio consumidor a procurar as alternativas mais eficientes, sem que esteja dependente da orientação de terceiros.

7.3 Perspetivas de desenvolvimentos futuros

No desenvolvimento deste projeto, alguns tópicos foram abordados de forma pouco exaustiva, sendo alguns deles possíveis temas de futuros projetos. Apresenta-se agora alguns dos tópicos considerados pertinentes para um estudo mais extensivo.

Duplo depósito de acumulação: neste projeto foi dimensionado para caso de estudo um sistema solar térmico com recurso a dois depósitos de acumulação para as AQS. No entanto, as simulações efetuadas apenas consideram um depósito único com o volume equivalente à soma dos volumes dos dois depósitos. Um possível projeto futuro seria o

estudo através da simulação numérica do comportamento térmico referente à utilização de dois depósitos de acumulação. Desta forma seria possível entender de que forma a introdução de um depósito afeta na eficiência do sistema e quais as diferenças em relação ao depósito único.

Bomba de calor como apoio às AQS: uma das soluções abordadas no capítulo de Instalação para Aproveitamento de Combustíveis Renováveis foram as bombas de calor. No entanto, esta solução não foi ponderada no caso de estudo, uma vez que a aquisição de uma bomba de calor apenas para energia de apoio poderia não ter interesse a nível energético e económico. Um possível estudo nesta matéria seria a integração de uma bomba de calor ao sistema solar térmico, não com a função de fonte de apoio, mas sim como fonte principal juntamente com os coletores térmicos. Este projeto poderia assim responder às seguintes questões:

- Poderá o campo solar ser reduzido devido à introdução de uma bomba de calor?
- Qual o efeito da introdução de uma bomba de calor na eficiência energética da instalação?
- Quais os custos desta nova instalação e qual o tempo de retorno do investimento?

Sistema fotovoltaico-eólico com armazenamento em baterias: como visto no caso de estudo, a produção de energia para consumo sem armazenamento está bastante dependente das condições meteorológicas, tornando-se uma solução bastante imprevisível. Com isto é proposto um estudo de uma instalação para produção energética com recurso à energia fotovoltaica e eólica, numa tentativa de melhor entender de que forma estas duas fontes se podem combinar. É ainda sugerido que a energia produzida seja armazenada em baterias de maneira a ser utilizada em períodos sem geração. Com este projeto seria expectável obter as seguintes informações:

- Volume de energia produzida por cada aproveitamento (solar e eólico);
- Dimensão da instalação necessária para satisfazer até 90% do consumo estipulado;
- Dimensão necessária do banco de baterias;
- Cálculo dos custos da instalação e do tempo de retorno do investimento.

Referências

- [1] Comissão Europeia. As alterações climáticas e os cidadãos. Url: https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu_pt
- [2] Pieraldo Isolani. Eficiência Energética nos Edifícios Residenciais.
- [3] Diário da República n.º 207/2015, 2º Suplemento, Série I de 2015-10-22, Portaria n.º 379-A/2015.
- [4] U.S. Department of Energy. Url: www.energy.gov
- [5] C. A. P. Santos. Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Evolvente dos Edifícios (ITE50).
- [6] B. Lela. Cardboard/Sawdust Briquettes as Biomass Fuel: Physical-mechanical and thermal characteristics
- [7] G. M. Masters. Renewable and Efficient Electric Power Systems. John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- [8] J. Adeeb, A. Farhan, A. Al-Salaymeh. Temperature Effect on Performance of Different Solar Cell. Journal of Ecological Engineering.
- [9] H. S. Huang, J. C. Jao, K. L. Yen, C. T. Tsai. Performance and Availability of PV Generation Systems in Taiwan. International Journal of Electrical and Computer Engineering.
- [10] T. J. Formica, H. A. Khan. The Effect of Inverter Failures on the Return on Investment of Solar Photovoltaic Systems. ResearchGate
- [11] A. Jossen, J. Garche, D. U. Sauer. Operation Conditions of Batteries in PV applications. ELSEVIER
- [12] P. Manimekalai, R. Harikumar, S. Raghavan. An Overview of Batteries for Photovoltaic Systems. International Journal of Computer Applications.
- [13] How are batteries recycled. Url: www.batterysolutions.com/recycling-information/how-are-batteries-recycled/
- [14] M.W. Rotach, P. Calanca. Encyclopedia of Atmospheric Sciences.
- [15] H. Hau. Wind Turbines. Springer.
- [16] S. Anweiler, W. Feadak, W. Gancarski. Determination of the Number of VAWT blades based on power spectrum
- [17] Diário da República n.º 125/2018, 1º Suplemento, Série I de 2018-07-02, Portaria n.º 190-A/2018
- [18] Poder calorífico. Url: www.antoniolima.web.br.com/arquivos/podercalorifico.htm
- [19] A. Paniz. Small Scale Heating Systems.

- [20] L. Caster. Can you use biodiesel in your generator? Url: www.gotpower.com/can-use-biodiesel-generator/
- [21] Natural Resources Canada. Heating and Cooling with a Heat Pump. Url: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/publications/efficiency/heating-heat-pump/6827>
- [22] U.S. Department of Energy. Guide to Geothermal Heat Pumps.
- [23] Sistema de Certificação Energética dos Edifícios. Url: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/publications/efficiency/heating-heat-pump/6827>
- [24] D. C. Jordan, S. R. Kurts. Photovoltaic Degradation Rates. Progress in Photovoltaics: Research and Applications.

Anexos

Coletor Solar Térmico

Ficha Técnica Coletor Solar PremiumSun FKT-2S



Principais características

- Alto rendimento, com tratamento altamente seletivo (PVD)
- Instalação na vertical
- Circuito hidráulico com dupla serpentina
- Permite ligação hidráulica em paralelo de canais até 10 coletores
- Permite ligação hidráulica em paralelo de canais do mesmo lado até 5 coletores
- Uniãos metálicas flexíveis, de fácil instalação e elevada durabilidade
- Isolamento em lã mineral de 55 mm de espessura
- Estrutura de uma só peça em forma de caixa, com fibra de vidro, leve, de elevada resistência mecânica e durabilidade
- Absorvedor em liga Cu/Al

Descrição geral e aplicabilidade

Os Coletores Solares Vulcano da Gama PremiumSun (FKT-2 S) incorporam inovações de última geração que permitem atingir sempre o melhor rendimento em qualquer situação. O seu acabamento altamente seletivo, com absorvedor em alumínio PVD, permite melhorar a sua eficiência e contribuir para a economia energética.

O circuito hidráulico em dupla serpentina destes coletores possibilita um aproveitamento ótimo da energia solar, com uma reduzida perda de carga, permitindo a ligação em paralelo de canais até 10 coletores. Possibilidade de ligação do mesmo lado até um máximo de 5 coletores em paralelo de canais.

A qualidade do vidro solar permite atingir um rendimento elevado, possui grande resistência e mantém as mesmas características ao longo do tempo.

A caixa exterior é de uma só peça, o que permite uma redução das perdas térmicas (tecnologia SMC – Sheet-Molding-Compound).

As ligações metálicas são flexíveis, facilitando a montagem e beneficiando a estanquidade e durabilidade da instalação.

Os coletores solares FKT-2 S são de instalação na vertical e, mediante as estruturas e ligações apropriadas, podem ser instalados em telhados planos ou inclinados.

Bosch Termotecnologia, S.A. Sede: Av. Infante D. Henrique, Lote 28-31C, 8000-220 Leiria (Portugal) - Capital Social 2 500 000 EUR (NIPC: PT 500 006 054) QFC: Aveiro




f i YouTube www.vulcano.pt

Vulcano
SOLUÇÕES DE ÁGUA QUENTE

Dados técnicos

Tabela Resumo

Gama	PremiumSun	
Modelo	FKT-2S	
Certificados		
Montagem	Vertical	
Dimensões: A x L x P	mm	2170 x 1175 x 87
Área total	m²	2,55
Área de abertura	m²	2,43
Área do absorvedor	m²	2,35
Volume do absorvedor	l	1,61
Peso em vazio	kg	45
Pressão de funcionamento admissível do coletor	bar	10
Caudal nominal	l/h	50
Estrutura	Fibra de vidro numa só peça (SMC)	
Isolamento	Lã mineral, 55 mm de espessura	
Absorvedor	Altamente seletivo	
Cobertura do absorvedor	PVD	
Circuito hidráulico	Dupla serpentina	
Curva de rendimento instantâneo segundo EN 12975-2 (baseada na área de abertura)		
Fator de eficiência (η)		0,794
Coefficiente de perdas linear (a_1)	W/(m²K)	3,863
Coefficiente de perdas secundário (a_2)	W/(m²K²)	0,013

Táb. 1 – Dados técnicos.

Perdas de pressão nos coletores

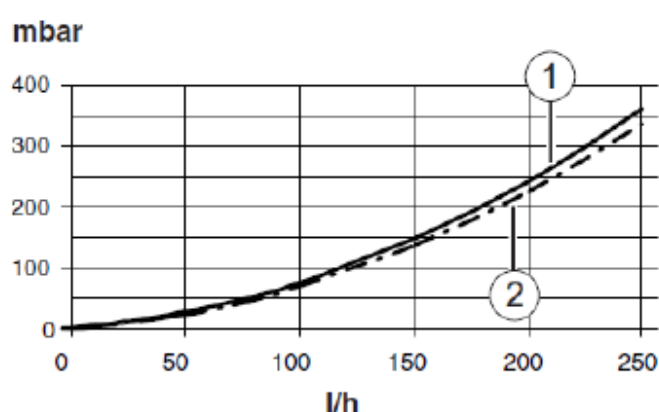


Fig. 1 – Perdas de pressão dos coletores solares.

1 – Perda de pressão para modelo FKT-2 S
2 – Perda de pressão para modelo FKT-2 W

Esta ficha técnica não dispensa a consulta do manual técnico de instalação.

Vulcano
SOLUÇÕES DE ÁGUA QUENTE

Área técnica necessária para instalação em telhado plano

Antes da instalação, devido à turbulência do vento e a pressões nas zonas periféricas dos telhados planos, é necessário cumprir uma distância mínima em relação ao bordo do telhado (distância a). Esta distância pode ser obtida através de uma das fórmulas que se seguem, podendo ser considerado o menor valor.

$$a = \frac{h \times 2}{10}$$

$$a = \frac{b}{10}$$

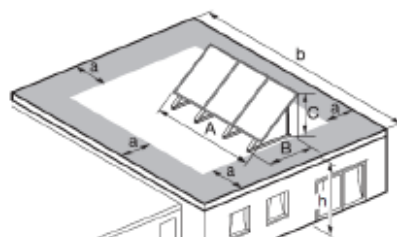


Fig. 2 – Espaço necessário para o campo dos coletores solares.

As tabelas seguintes resumem as dimensões das baterias de coletores, bem como um valor orientativo para a distância entre as mesmas, de forma a evitar possíveis sombreamentos entre elas

Número de coletores	Medida A
2	2,38 m
3	3,58 m
4	4,78 m
5	5,98 m
6	7,18 m
7	8,38 m
8	9,58 m
9	10,78 m
10	11,98 m

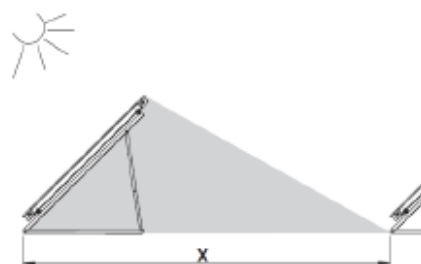
Tab. 2 – Espaço necessário (largura do campo)

Ângulo de inclinação	Medida B	Medida C
30°	1,92 m	1,29 m
35°	1,80 m	1,46 m
40°	1,69 m	1,60 m
45°	1,57 m	1,74 m
50°	1,52 m	1,86 m
55°	1,53 m	1,97 m
60°	1,54 m	2,06 m

Tab. 3 – Espaço necessário (profundidade do campo)

Latitude = 40°	
Ângulo	Distância X
30°	4,14 m
35°	4,36 m
40°	4,55 m
45°	4,70 m
50°	4,82 m
55°	4,91 m
60°	4,95 m

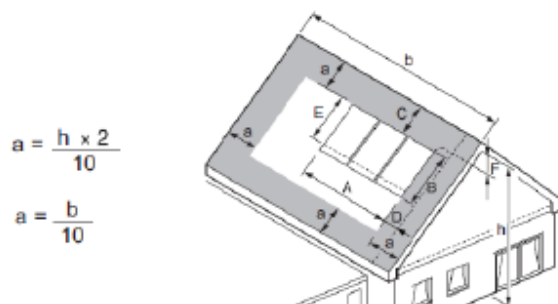
Tab. 4 – Distância entre filas de coletores (inclinação solar considerada: 23,5°).



Área técnica necessária para instalação em telhado inclinado

Antes da instalação, é necessário prever o espaço para a instalação dos coletores solares no telhado, respeitando algumas distâncias.

A imagem e tabela seguintes ilustram as distâncias que devem ser consideradas para uma correta instalação.



$$a = \frac{h \times 2}{10}$$

$$a = \frac{b}{10}$$

Fig. 3 - Medidas de distâncias a considerar.

Número de coletores	Medida A	Medida B
2	2,38 m	2,17 m
3	3,58 m	2,17 m
4	4,78 m	2,17 m
5	5,98 m	2,17 m
6	7,18 m	2,17 m
7	8,38 m	2,17 m
8	9,58 m	2,17 m
9	10,78 m	2,17 m
10	11,98 m	2,17 m

Táb. 5 - Necessidade de espaço para os coletores solares.

Medida a: Ambas as fórmulas são possíveis, podendo utilizar-se o menor valor.

Medida A e B: Superfície necessária para o campo de coletores solares.

Medida C: Pelo menos duas filas de telhas até à cumeeira ou chaminé.

Medida D: Pelo menos 0,5 m para o tubo de avanço à direita ou esquerda, junto ao campo de coletores.

Medida E: Corresponde a 1,9 m e é a distância mínima desde a aresta superior do coletor até à calha de perfil inferior, instalada em primeiro lugar.

Medida F: No mínimo 0,4 m, no caso de ser necessário instalar um purgador no telhado.

Esta ficha técnica não dispensa a consulta do manual técnico de instalação.

Depósitos de Acumulação

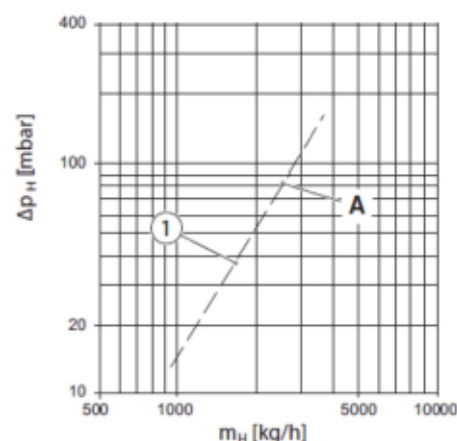
Dados técnicos SK 160-5 ZB e SK 200-5 ZB

Acumulador		SK 160-5 ZB	SK 200-5 ZB
Altura mínima para substituição do ânodo de magnésio	mm	1410	1625
Ligação água quente	DN	R1"	R1"
Ligação água fria	DN	R1"	R1"
Ligação recirculação (circuito de retorno das A.Q.S.)	DN	R½"	R½"
Diâmetro da bainha do sensor de temperatura do acumulador	mm	19	19
Tara (sem embalagem)	kg	74	84
Peso total incluindo enchimento	kg	234	284
Espessura Isolamento	mm	50	50
Condutividade Térmica	λ (W/m.K)	0,022	0,022
Espessura Equivalente	mm	90	90
Capacidade do acumulador			
Capacidade útil (total)	l	157	199
Perdas térmicas	kWh/24h	1,3	1,3
Temperatura máxima água quente	°C	95	95
Pressão máxima de funcionamento água sanitária	bar	10	10
Permutador de calor			
Capacidade	l	6	6
Superfície	m²	0,9	0,9
Potência da serpentina (a 80 °C de temperatura de avanço, 45 °C de temperatura de saída da água quente e 10 °C de temperatura da água fria)	kW	31,5	31,5
Dimensão de ligação água de aquecimento	DN	R1"	R1"

	Volume do acumulador (lts)	Perda de capacidade térmica (W)	Classe de eficiência energética de preparação de água quente
SK 160-5 ZB	157	54,8	B
SK 200-5 ZB	199	53,8	B

Esta ficha técnica não dispensa a consulta do manual técnico de instalação.

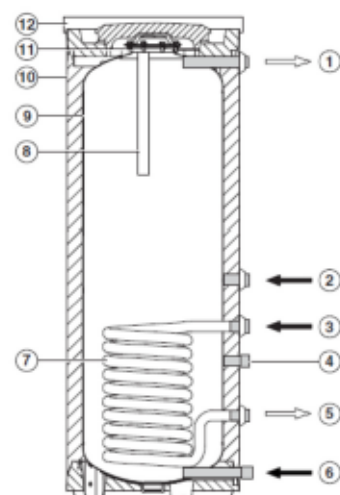
Diagrama de perda de pressão SK 160-5 ZB e SK 200-5 ZB



1 - SK 160-5 ZB, SK 200-5 ZB

A - 82 mbar, 2500 kg/h

Medidas e Atravancamentos (mm) SK 160-5 ZB e SK 200-5 ZB

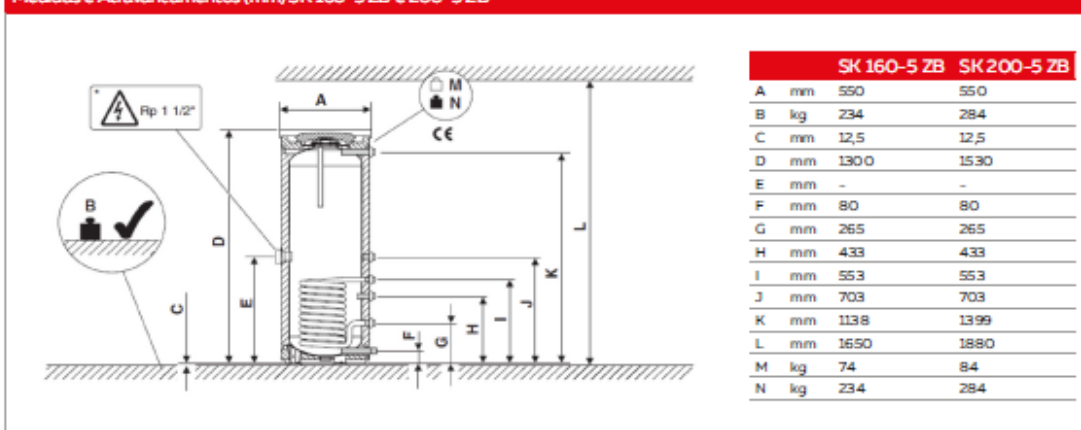


- 1 - Saída de água quente RT
- 2 - Ligação de retorno das AQS. 1/4"
- 3 - Avanço do acumulador RT
- 4 - Bainha de imersão para sonda de temperatura
- 5 - Retorno do acumulador RT
- 6 - Entrada de água fria RT
- 7 - Permutador de calor para aquecimento em circuito fechado, tubo liso vitrificado
- 8 - Ânodo de magnésio montado
- 9 - Reservatório de acumulação, aço vitrificado
- 10 - Revestimento, chapa laciada com isolamento térmico de espuma rígida de poliuretano de 50 mm
- 11 - Abertura de verificação para manutenção e limpeza
- 12 - Tampa do revestimento

Esta ficha técnica não dispensa a consulta do manual técnico de instalação.

Vulcano
SOLUÇÕES DE ÁGUA QUENTE

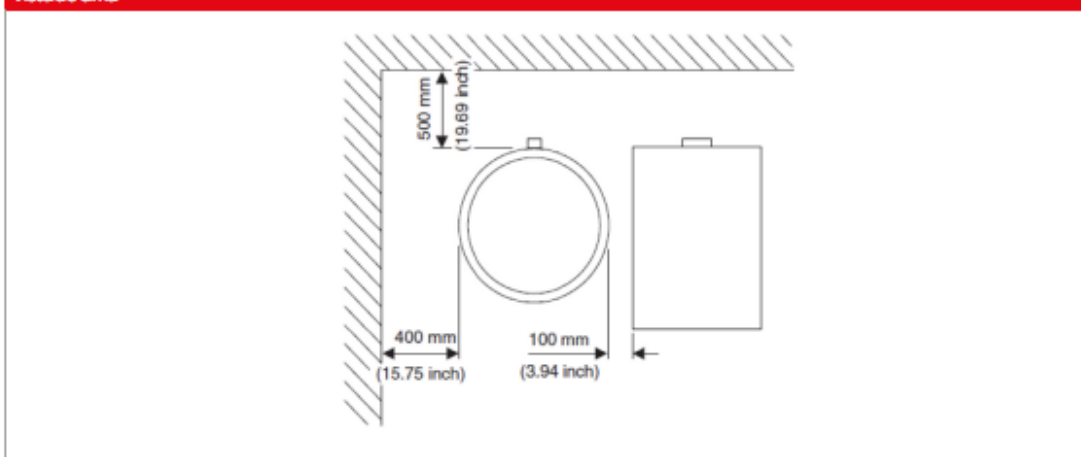
Medidas e Atravancamentos (mm) SK 160-5 ZB e 200-5 ZB



Dimensões de Instalação






- A instalação dos acumuladores de água quente deve respeitar as distâncias mínimas indicadas, de forma a realizar os trabalhos de manutenção dos mesmos, permitindo igualmente a substituição do ânodo de magnésio.
- Para a instalação do acumulador de água quente, é necessário manter uma distância mínima, igual ou superior a 250 mm em relação à cobertura e igual ou superior a 600 mm na frente do acumulador.
- As distâncias mínimas apresentadas são necessárias para realizar a manutenção dos depósitos de acumulação, sem haver necessidade de os retirar do local onde estão instalados.

Vista de cima



Dados técnicos

Depósitos de uma serpentina

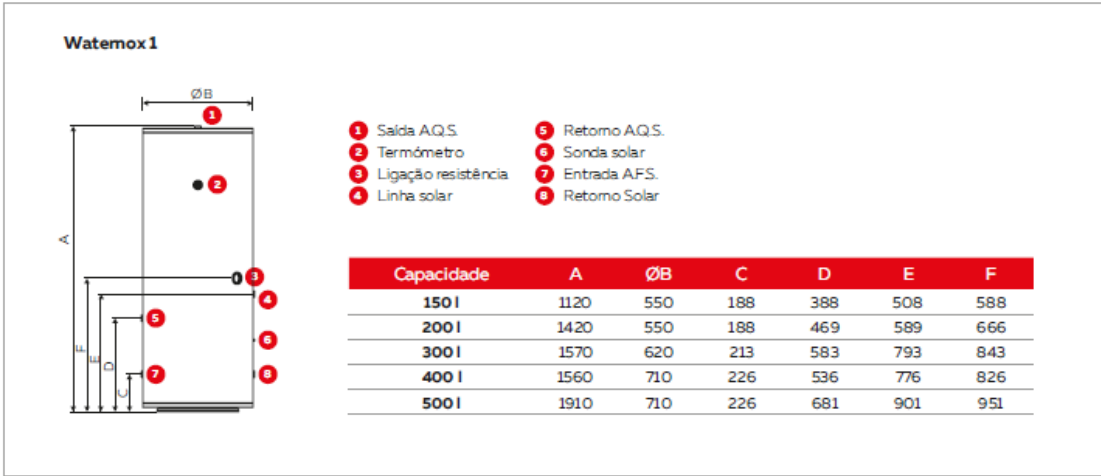
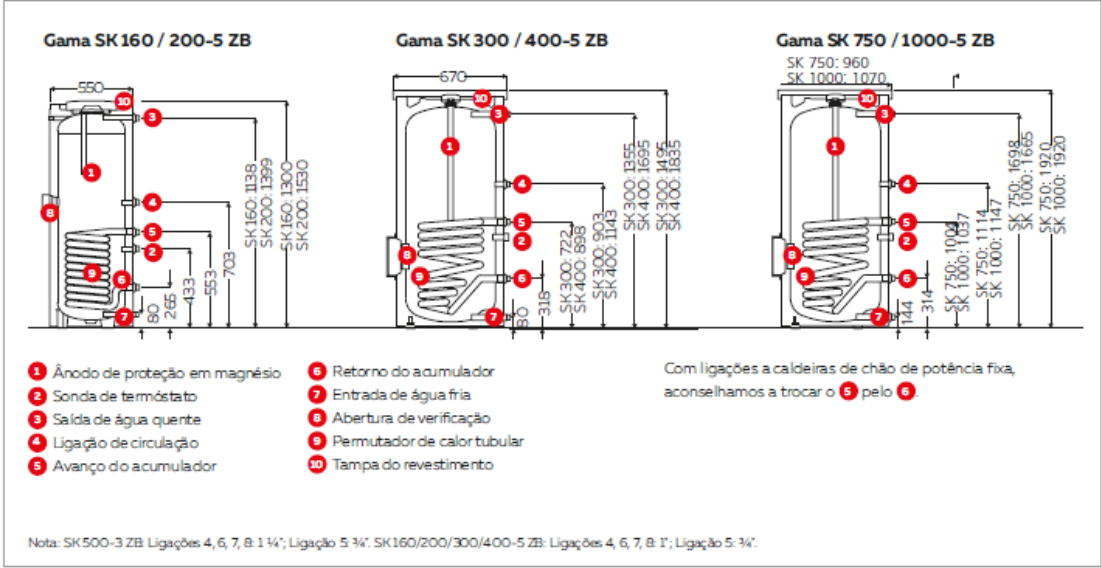
Gama Waternox 1		150/1	200/1	300/1	400/1	500/1
Classificação Energética A.Q.S.		 C	 C	 C	 C	 C
Escala ErP		A+ → F	A+ → F	A+ → F	A+ → F	A+ → F
Capacidade	litros	148	196	289	390	495
Construção da cuba		Aço Inoxidável LDX211				
Área do permutador solar	m²	0.67	0.77	1.32	1.73	2.13
Capacidade do permutador solar	litros	3.1	3.5	6	7.9	9.8
Capacidade de transferência do permutador de apoio *	kW	21	23	36	52	60
Construção permutador(es)		Aço Inoxidável AISI 316L				
Pressão máxima de trabalho da cuba	bar	6	6	6	6	6
Pressão máxima de trabalho do permutador	bar	6	6	6	6	6
Temperatura máx. de trabalho da cuba	°C	85	85	85	85	85
Temperatura máx. de trabalho do permutador	°C	95	95	95	95	95
Isolamento térmico em poliuretano expandido		50 mm de espessura sem CFC's e HCFC's				
Revestimento exterior		Aço galvanizado DX51 pintado eletrostaticamente				
Peso em vazio	kg	42	50	65	84	100

* Temperatura de entrada do secundário: 10 °C; Temperatura de entrada do circuito primário: 85 °C (T=20k)

Informação técnica

Dimensões e atravancamentos (medidas em mm)

DEPÓSITOS DE UMA SERPENTINA



Controlador Térmico

Ficha Técnica Central de controlo B-Sol 100-2



Principais características

- Controlador para sistema solar simples: leitura no campo de coletores e depósito de água quente associado
- Display LCD iluminado com indicação das temperaturas no painel, depósitos (ou outras), códigos de anomalia, modo de funcionamento e estado da bomba
- Fácil leitura das temperaturas do depósito e painel
- Ajuste do diferencial de temperatura
- Possibilidade de seleção de temperatura máxima no depósito solar
- Modo anti-gelo eletrónico
- Inclui 2 sondas de temperatura, uma sonda para coletor e uma sonda para depósito
- Instalação na parede

Descrição geral e aplicabilidade

O controlador foi concebido para o funcionamento de um sistema de energia solar simples, com controlo no campo de coletores térmicos e no depósito acumulador de água.

Havendo diferença de temperatura entre o campo de coletores térmicos e o acumulador solar, ou seja, havendo uma temperatura superior nos coletores solares em relação ao acumulador de água quente, o termostato diferencial B-Sol 100-2 manda arrancar a bomba circuladora de modo a transferir a energia captada nos coletores solares para o acumulador de água quente.

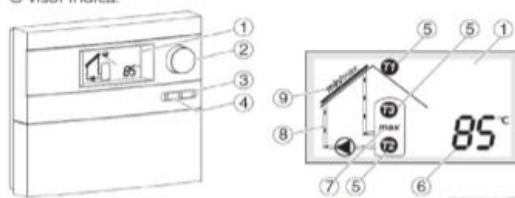
Dentro do acumulador solar encontra-se um permutador de calor, em forma de serpentina, o qual transmite o calor absorvido pelo fluido solar térmico para a água potável ou água quente.

Assim que a diferença de temperatura de desativação é atingida, a bomba desliga-se.

Temperatura máxima e mínima do coletor térmico: se a temperatura máxima do coletor térmico for ultrapassada, a bomba desliga-se. Se a temperatura mínima do coletor térmico (20 °C) não for atingida, a bomba também não funciona.

Para a proteção da bomba, esta ativa-se automaticamente aprox. 24 horas após o seu último funcionamento, durante cerca de 3 segundos (arranque da bomba).

O visor indica:



- 1 - Display
- 2 - Botão rotativo para seleção de funções
- 3 - Tecla retroceder
- 4 - Tecla menu
- 5 - Sensor de temperatura
- 6 - Indicação do valor de temperatura, horas de funcionamento
- 7 - Indicação para temperatura máxima do acumulador atingida
- 8 - Circulação animada do transporte da energia solar
- 9 - Indicação para temperatura mínima ou máxima nos coletores solares

- Visualização animada do transporte do fluido térmico solar
- Estado da bomba (com esquema simples do sistema)
- Até 5 minutos após a última ativação de uma tecla botão, o visor do controlador, no modo normal, acende com luz verde/amarela (ativação por ex. a premir o botão rotativo)
- Indica os parâmetros do sistema: através do botão rotativo, podem ser consultados diferentes valores do sistema (valores de temperatura, horas de funcionamento, rotação da bomba):
Indicações de falha, ex.:
 - Falta de caudal
 - Bomba inativa
 - Ligações trocadas aos elementos do sistema solar

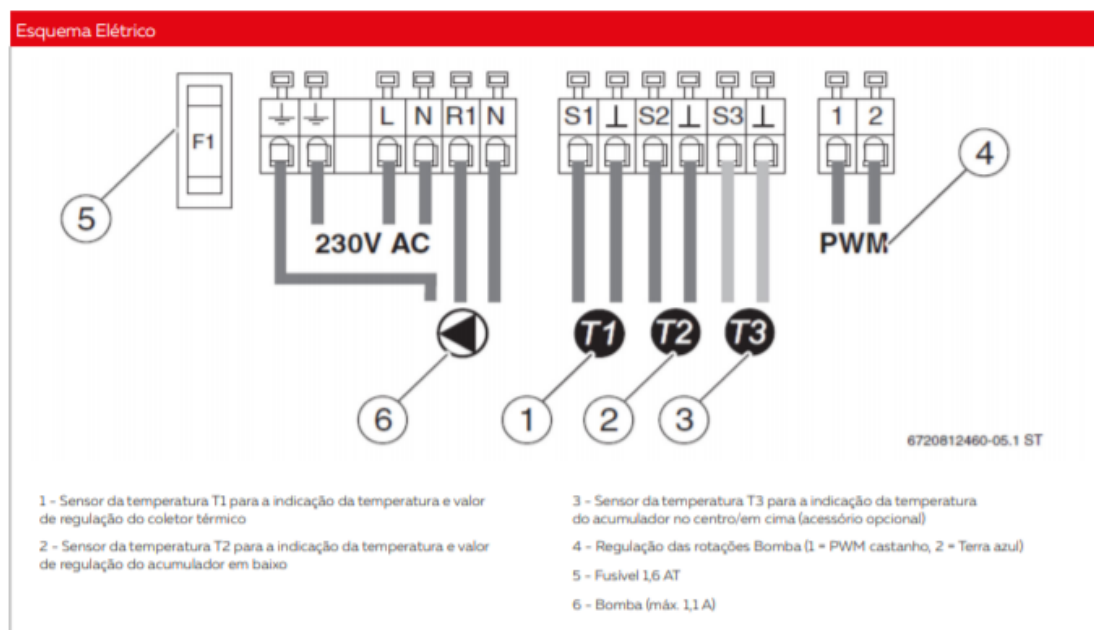


f i n YouTube www.vulcano.pt

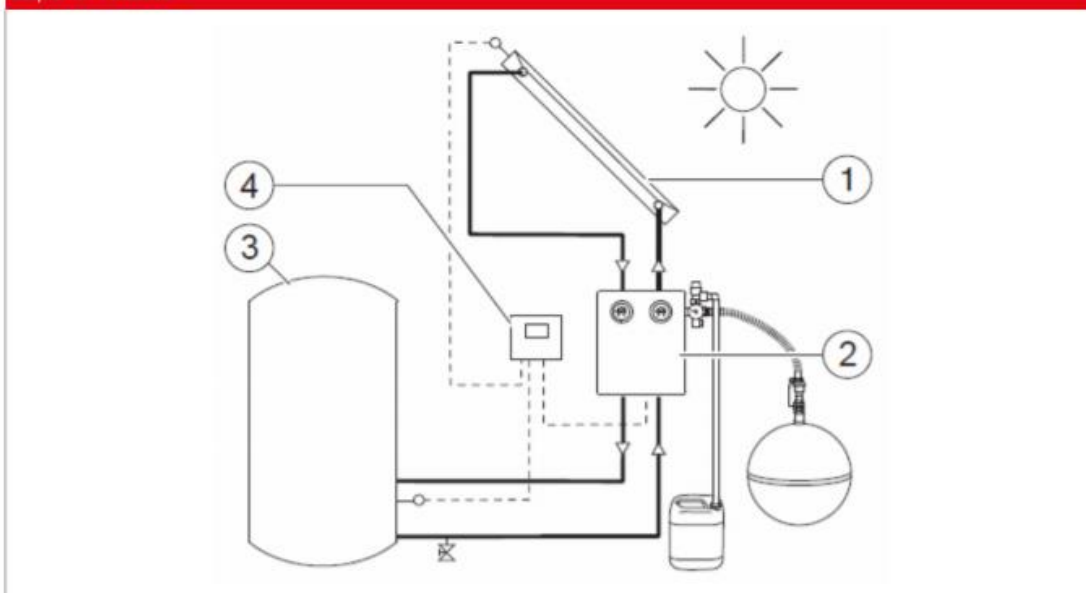
Vulcano
SOLUÇÕES DE ÁGUA QUENTE

Gama	Centrais de controlo B-Sol
Modelo	B-Sol 100-2
Consumo próprio	1 W
Tipo de proteção	IP 20/DIN 40050
Tensão de alimentação	230 AC, 50 Hz
Corrente de serviço (I_{serv})	1,1 A
Máx. consumo de corrente na saída da bomba (I_{max})	1,1 A (apenas 1 bomba ligada)
Intervalo de medição	-30 °C a + 180 °C
Temperatura ambiente permitida	0 °C a 50 °C
Sensor de temperatura do coletor	NTC 20 K com um cabo de 2,5 m de comprimento
Sensor de temperatura do acumulador	NTC 12 K com um cabo de 2,5 m de comprimento
Dimensões (A x L x P)	170 x 190 x 53 mm

Tab. 1 - Dados técnicos - B-Sol 100-2.



Esta ficha técnica não dispensa a consulta do manual técnico de instalação.



[1]	Campo de coletores térmicos	• Composto por coletores térmicos planos ou coletores térmicos de tubo de vácuo
[2]	Grupo de circulação solar	• Composto pela bomba, assim como válvulas de segurança e de corte para o circuito solar
[3]	Acumulador solar	<ul style="list-style-type: none"> • Destina-se à acumulação da energia solar obtida • São diferenciados: <ul style="list-style-type: none"> - acumulador de A.Q.S - acumulador de inércia (para o apoio do aquecimento) - acumulador combinado (para apoio ao aquecimento e produção de água quente)
[4]	Controlador B-Sol 100-2	• incl. dois sensores de temperatura

Esta ficha técnica não dispensa a consulta do manual técnico de instalação.

Micro Inversor



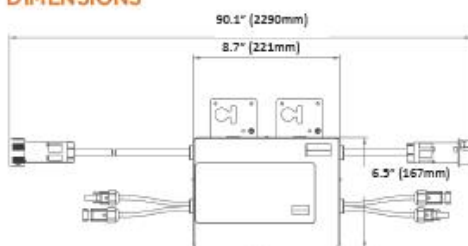
Leading the Industry in
Microinverter Technology



YC500A Microinverter

- Single unit connects two solar modules
- Maximum output power 500W
- Individual MPPT for each module
- Rated up to 310W
- Up to 14 solar modules (7x YC500s) in a string with a 20A breaker

DIMENSIONS



Our flagship product, the APS YC500A is a grid-tied microinverter with intelligent networking and monitoring systems to ensure maximum efficiency. Highly dependable and cost effective, the YC500A handles up to 310W modules with negligible clipping, delivering 250W AC per module with dual MPPT. Half the inverters and half the installation means real cost savings for residential and commercial customers.



APSamerica.com

APS YC500A Microinverter Datasheet

INPUT DATA (DC)

Recommended PV Module Power Range (STC)	180-310W
MPPT Voltage Range	22-45V
Maximum Input Voltage	55V
Maximum Input Current	12A X 2

OUTPUT DATA (AC)

Rated Output Power	500W
Maximum Output Current	2.08A @ 240V 2.4A @208V
Nominal Output Voltage/Range - 240V	240V/211V-264V*
Nominal Output Voltage/Range - 208V	208V/183V-229V*
Nominal Output Frequency/Range	60Hz/ 59.3-60.5Hz*
Power Factor	>0.99
Total Harmonic Distortion	<3%
Maximum Units Per Branch	7 per 20A @ 240V 6 per 20A @ 208V

EFFICIENCY

Peak Efficiency	95.5%
CEC Weighted Efficiency**	95%
Nominal MPP Tracking Efficiency	99.5%

MECHANICAL DATA

Storage Temperature Range	-40°F to +185°F (-40°C to +85°C)
Operating Temperature Range (Ambient)	-40°F to +149°F (-40°C to +65°C)
Operating Temperature Range (Internal)	-40°F to +185°F (-40°C to +85°C)
Dimensions (WxHxD) inches	8.75" x 6.5" x 1.1"
Dimensions (WxHxD) mm	221mm x 167mm x 29mm
Weight	5.5 lbs (2.5kg)
Enclosure Rating	NEMA 4X
Cooling	Natural Convection

FEATURES & COMPLIANCE

Communication	Power line
Design Life	25 years
Emissions & Immunity (EMC) Compliance	FCC PART 15, ANSI C63.4 2003, ICES-003
Safety Class Compliance	UL 1741 , CSA C22.2, No. 107.1-01, NEC2014 690.12
Grid Connection Compliance	IEEE 1547

Specifications subject to change without notice - please ensure you are using the most recent update found at www.APSAmerica.com

* Programmable per customer and utility requirements. All settings UL approved

**CEC registered as Altenergy Power System Inc.

10.06.14 © All Rights Reserved

Painel Fotovoltaico

MLU series

255Wp PV-MLU255HC
250Wp PV-MLU250HC

Photovoltaic Modules

Mitsubishi Electric is a global leader in providing superior-quality photovoltaic modules to businesses and residences around the world. With nearly 40 years experience in the photovoltaic industry, we manufacture products designed and built for optimal efficiency and reliability. With Mitsubishi Electric, you are getting the best.

High Power Output

Our modules are designed for high efficiency and high power output to utilize limited space while giving you a greater return on investment.

- Unique 4 bus bar, half-cut, monocrystalline cells increase efficiency
- Proprietary cell surface texturing process increases light absorption
- Anti-reflective glass traps more light, increasing module output
- Straight electrical tabs ensure integrity of electrical connections and increase current flow
- Cells matched for electrical uniformity produce high power output and reliability

High Reliability

Superior craftsmanship, engineering excellence, and attention to the finest detail ensure longevity and optimal performance.

- Industry-first, 4-layer protective junction box reduces risk of failure from water or dust intrusion, enhancing reliability and safety
- Sturdy frame allows mounting in portrait or landscape orientations
- Exceptional engineering allows module installation next to saltwater
- Double layer of corrosion-resistant coating protects frame
- High static load rating of 5400Pa to endure high wind and snow loads
- Heat resistant diodes allow modules to operate under a wide variety of temperature conditions
- 25-year power output warranty

Mitsubishi Electric Quality

For more than three decades we have been perfecting our PV modules to bring you the highest quality products possible.

- Automated cell and module production lines ensure consistently high quality in every module
- Each cell and module flash tested to ensure rated level of output
- Aesthetically pleasing black frame and cells
- Lead-free solder protects health and the environment

monocrystalline

Technical Specifications

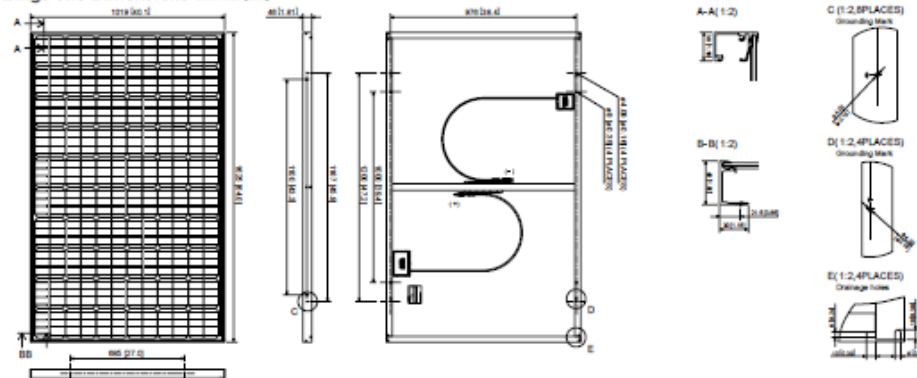


Mitsubishi Electric Photovoltaic Module

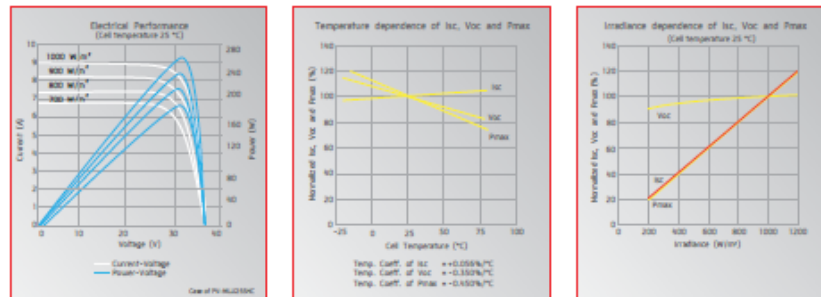
Specification Sheet

Manufacturer	MITSUBISHI ELECTRIC	
Model name	PV-MLU255HC	PV-MLU250HC
Cell type	Monocrystalline Silicon, 78mm x 156 mm	
Number of cells	120 cells	
Maximum power rating (Pmax)	255Wp	250Wp
Warranted minimum Pmax	247.4Wp	242.5Wp
PV USA test condition rating (PTC)	230.5Wp	225.8Wp
Open circuit voltage (Voc)	37.8V	37.6V
Short circuit current (Isc)	8.89A	8.79A
Maximum power voltage (Vmp)	31.2V	31.0V
Maximum power current (Imp)	8.18A	8.08A
Module efficiency	15.4%	15.1%
Aperture efficiency	16.7%	16.4%
Tolerance of maximum power rating	+3/-3%	
Static load test passed	5,400 Pa	
Number of bus bars per cell	4 Bus bars	
Normal operating cell temperature (NOCT)	45.7°C	
Maximum system voltage	DC 600V	
Fuse rating	15A	
Dimensions	64.0 x 40.1 x 1.81 inch (1625 x 1019 x 46 mm)	
Weight	44 lbs (20kg)	
Number of modules per pallet	20	
Number of modules per container (40 ft. container)	560	
Output terminal	[+] 800mm [-] 1250mm with MC connector (PV-KTB4/6 II-UR, PV-KST4/6 II-UR)	
Certifications	IEC 61215 2nd Edition, UL1703	
Fire rating	Class C	

Drawings and Dimensions Unit: inch (mm)



Electrical Characteristics



Mitsubishi Electric 6 Electronics USA, Inc.
5665 Plaza Drive, Cypress, CA 90630-0007
Telephone: 714-220-2500 Email: pv@meus.mea.com
www.mitsubishielectricsolar.com

PVMEUS0012A

Specifications subject to change without notice.
Printed on recycled paper using soy-based inks.

Controlador Fotovoltaico

OWL Intuition-pv is a new OWL product created to compliment and monitor your Solar PV installation.

OWL Intuition-pv provides real-time access to your electricity consumption and solar generation data through your web browser, smart phone or tablet.

OWL Intuition-pv is part of a new and expanding family of intelligent, cloud based energy monitoring and control solutions for domestic and commercial premises.

*make your home an **OWL** home*

Information Analysis

OWL Intuition-pv widget with real time energy and cost information

Quick comparison of recent periods

Graphs have quick selection buttons:

- Time Frames – allow data for last 1 day, 1 week, 1 month, 3 months, 6 months, 12 months
- Grids By – None (full detail), Day, Week, Month, Year
- Display – Energy consumed, Cost of energy consumed, CO2a of energy consumed

Hover over graphs for detail

Print graph

Download:

- Graph as PDF document, JPEG image, PNG image or SVG vector image
- Push data streams for those wishing to collect and analyse own data:
- Multicast data broadcast on local network

Extending the domestic system

OWL Intuition-pv is only a first step towards really significant energy and cost savings. It will make a big difference to your knowledge about electricity usage and will help you change simple things that will reduce your electricity consumption.

It is a little known fact, however, that over 80% of the energy consumed in the home is used for heating and hot water. **OWL Intuition** brings heating and hot water control into the Internet Age. The intelligent control system has numerous energy saving and ease of use features. For example, it can take the occupancy of the home into account – why waste energy and money heating your home when there is nobody in? **OWL Intuition** is designed to save energy without sacrificing comfort. For example, the energy saved by being able to delay the heating coming on when you are going to be late home – or the convenience and comfort of being able to turn the heating on before coming home early on a cold day?

Please visit our web site for further information on **OWL Intuition**.
www.throwl.com/intuition

Technical

Operating frequency:
Transmitter - 433MHz
Network OWL Gateway – 433MHz and 868MHz

Operating range up to 30m

12 second refresh rate (Electricity consumption data)

Transmitter battery life > 14 months

Sensor suitable to monitor cables rated up to 71A

Storage conditions: -25°C to +45°C

Relative humidity: 25% to 85% non-condensing

Operating temperature: 0°C to 40°C

Ingress protection: IP30

Standards

IEC EN 60730-1:2001 (2nd Edition) / EN 61010-1:2001 (2nd Edition)
IEC EN 60730-2:2011 V2.1.1 (2006-04) / ETSI EN 300 220-2 V2.1.2 (2007-09)
ETSI EN 301 489-1 V1.8.1 (2008-04) / ETSI EN 301 489-3 V1.4.1 (2002-08)
RoHS – WEEE Directive, RoHS, Battery Directive

Includes

Network OWL Gateway with external antenna

Plug top power supply – 240V UK

External cable

3 x standard sensor unit

2 x standard sensor clamp (< 10mm cable, < 71A)

3 x AA alkaline battery

Installation / User Manual

Options

Large Sensor clamp (< 17mm cable, < 200A)

OWL
2 Save Energy Ltd
The Annexe, Field House Barn
Chilham Lane, Sherborne St John
Buckinghamshire HP8 4LT UK
Tel: 01494 656 365
www.throwl.com

OWL Intuition-pv is a new OWL product created to compliment and monitor your Solar PV installation. OWL Intuition-pv provides real-time access to your electricity consumption and solar generation data through your web browser, smart phone or tablet.

How does it work?

The Network OWL gateway automatically logs all of your consumption and generation data securely within the Intelligent Cloud software platform. You can then login to view your live and historic data, from any Internet connected computer, anywhere! Or if you wish, access OWL Intuition-pv on your smartphone using a dedicated iPhone or Android app - both available for free download. Network OWL gateway simply plugs into your existing broadband router and wirelessly links with the Transmitter and two Sensors.

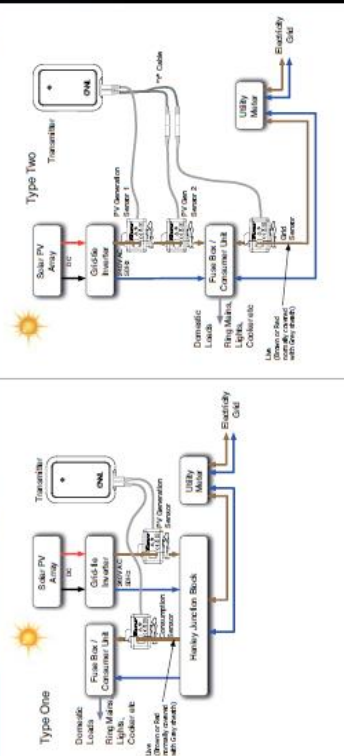
OWL Intuition-pv is part of a new and expanding family of intelligent, cloud based energy monitoring and control solutions for domestic and commercial premises.

Features

- Energy data is automatically and continuously collected and stored within the Intelligent Cloud via a Network OWL connected to your existing broadband Internet connection
- Real time and accumulated data can be viewed via:
 - Web browsers (including iPad)
 - iPhone and Android smartphones
 - Clear summary information with trend indicators and "hover over" analysis
 - Easy to read graphs with hover over detail values
 - Print or download graphs
 - Supports Economy 7 time tariffs
 - Optional data push via Multicast protocol
 - Software is upgradeable to provide access to future new features and services

System Design

OWL Intuition-pv allows you to monitor how much Solar PV power is being generated, the energy your home is currently consuming and hence how much power is being imported from or exported to the grid. There are two common Solar PV wiring configurations, see the diagrams opposite to determine which type you have. If you have a Type One installation then you just need to purchase the standard Intuition-pv pack. If you have a Type Two installation then you will need to purchase both the standard Intuition-pv pack and the Intuition-pv Type 2 pack which includes both the "Y" cable and the additional Sensor clamp required.



Web browsers must have JavaScript enabled.
 OWL Intuition is optimised for use on Internet Explorer 9+, Safari 5+;
 Safari iOS 5+; Chrome 17+.

